



**Diplôme d'Université
Trail Running**

**Influence de la déshydratation,
du jeûne ou de la privation de sommeil
sur la dérive cardiovasculaire
lors d'un effort aérobique en course à pied.**

Présenté par
Cambazar Guillaume

Sous la direction de
Vergès Samuel

Promotion 2024

La dérive cardiovasculaire est un phénomène physiologique naturel décrit depuis le début des années 1960 et observable au fil du temps lors d'un effort à intensité constante. Elle se caractérise notamment par une diminution de la pression artérielle et du volume d'éjection systolique (VES) ainsi qu'une augmentation du rythme cardiaque. Divers facteurs, tels qu'une température extérieure élevée ou un taux d'humidité important, influencent cette dérive. Cependant, il a été démontré que la déshydratation endogène induite par l'effort constitue un facteur important dans l'augmentation de cette dérive. De nombreuses études s'attachent à identifier d'autres marqueurs de la dérive cardiovasculaire afin d'approfondir la compréhension de ce phénomène et la majorité de ces travaux se concentre principalement sur son évolution physiologique durant l'exercice. Il paraît toutefois pertinent de s'interroger sur l'influence potentielle de l'état initial des individus effectuant un effort à intensité constante sur la dérive cardiovasculaire. Ce travail a été conçu pour examiner quatre conditions distinctes : absence de modification particulière, déshydratation contrôlée, privation de sommeil contrôlée, et enfin, réalisation de l'effort à jeun. Ainsi, cinq hommes et trois femmes ont réalisé un effort à environ 70% de leur VMA pendant 40 minutes dans chacune des conditions afin de permettre l'observation et la comparaison de l'évolution du rythme cardiaque et de la perception de l'effort. Bien que la perception de l'effort semble similaire dans chaque condition, il a été observé qu'une personne déshydratée avant l'effort présente une augmentation plus rapide de la fréquence cardiaque qu'une personne à jeun où son influence sur la dérive cardiaque s'est révélée minime pour l'ensemble des participants. Toutefois, il apparaît que la privation de sommeil peut également jouer un rôle, entraînant une légère augmentation de la fréquence cardiaque au cours de l'effort, bien que cette augmentation reste inférieure à celle induite par la déshydratation.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer mes premiers remerciements aux participants qui ont accepté de consacrer de leur temps à ce protocole malgré les moments d'inconfort qu'il pouvait impliquer. Ils ont suivi les consignes avec rigueur et je leur en suis profondément reconnaissant.

Je tiens à remercier également l'ensemble des acteurs impliqués dans l'organisation du Diplôme Universitaire Trail Running de Grenoble, Laure Desmurs et Caroline Visery en particulier, ainsi qu'aux intervenants. La formation dispensée est d'une grande qualité et riche en enseignements sur de très nombreux sujets, tous aussi intéressants les uns que les autres.

Merci aussi à Samuel Vergès, mon tuteur, pour ses retours précieux sur le protocole que je souhaitais mettre en place ainsi que ses conseils éclairés.

Un dernier remerciement aux personnes qui ont proposé de relire le compte rendu de ce projet, pour leurs retours constructifs et leurs suggestions d'amélioration.

Résumé..... 2

Remerciements..... 3

Sommaire..... 4

Introduction..... 5

1. Littérature..... 6

 1.1 L’effort aérobic..... 6

 1.2 La dérive cardiovasculaire..... 6

 1.3 La déshydratation, le manque de sommeil et le jeûne..... 8

 1.4 Problématique..... 9

2. Méthodologie..... 10

 2.1 Participants..... 10

 2.2 Description du protocole..... 10

 2.3 Mesures..... 12

 2.4 Analyses..... 12

3. Résultats..... 14

 3.1 Données générales..... 14

 3.2 Conditions extérieures..... 14

 3.3 Évolution du ressenti de l’effort (RPE)..... 15

 3.4 Évolution du coefficient de dérive cardiaque..... 17

4. Discussion..... 20

 4.1 Résultats..... 20

 4.2 Limites..... 21

 4.3 Perspectives..... 22

Conclusion..... 24

Bibliographie..... 25

Annexes..... 28

Afin de permettre au corps de fonctionner de manière optimale en toute situation, l'homéostasie est cruciale. Elle l'est d'autant plus qu'elle permet de réduire le risque de blessures et maximiser les performances dès lors que l'on souhaite pratiquer un sport, la course à pied ne faisant bien évidemment pas exception à la règle. Or, même en homéostasie, certaines évolutions physiologiques apparaissent au cours d'un exercice physique, notamment la dérive cardiovasculaire.

La dérive cardiovasculaire est un phénomène physiologique naturel qui se manifeste au fil du temps lors d'efforts effectués à une intensité constante; l'effort entraînant une élévation de la température corporelle. Ce phénomène se caractérise par divers aspects, notamment une augmentation continue de la fréquence cardiaque. Bien que la dérive cardiovasculaire soit documentée depuis les années 1960, l'ensemble des facteurs à son origine demeure mal compris.

Il a toutefois été démontré que la déshydratation résultant de l'effort physique a une influence significative sur la dérive cardiovasculaire et que la température extérieure ainsi que l'hygrométrie exacerbent ce phénomène. En effet, des températures supérieures à 25°C et/ou un taux d'humidité dépassant 60% diminuent l'efficacité des mécanismes de régulation de la température corporelle, tels que la sudation; ce qui augmente l'intensité de la dérive cardiovasculaire. Malgré de nombreuses recherches dans la littérature existante, il s'avère que seuls les effets d'une déshydratation présente en amont de l'effort ont été étudiés. Il serait pertinent d'examiner deux autres situations que les athlètes rencontrent fréquemment au cours de leur parcours sportif : le manque de sommeil et les efforts à jeun. Ces pratiques sont parfois encouragées par certains entraîneurs, des programmes d'entraînement disponibles en ligne ou par les athlètes eux-mêmes. Or, en fonction de ses connaissances, de sa capacité à prendre du recul, de sa confiance en soi, de son expérience dans la course à pied et de l'accompagnement dans ses entraînements, l'athlète peut être amené à remettre en question ses capacités et ses performances ou même éprouver un sentiment de régression dans sa pratique en fonction des réactions physiologiques de son corps lors de certaines séances. Il apparaît donc pertinent de proposer des pistes de réflexion aux athlètes et aux entraîneurs concernant leurs séances d'entraînement et de l'analyse qui en résulte en tenant compte de la condition physiologique de départ de l'athlète. Dans cette optique, réaliser un travail axé sur la dérive cardiovasculaire s'est révélé être un sujet intéressant.

L'objectif principal de cette étude est de réaliser une analyse comparative de la dérive cardiovasculaire dans quatre situations différentes que les athlètes peuvent rencontrer avant de démarrer une séance : état normal, déshydratation, fatigue et jeûne; le tout dans des conditions extérieures équivalentes. Bien que la dérive cardiovasculaire puisse être mesurée de différentes manières en raison de son interaction avec divers marqueurs physiologiques, l'augmentation du rythme cardiaque au fil du temps est l'indicateur le plus facilement quantifiable. C'est donc autour de cette donnée que ce projet a été élaboré.

Dans une première partie, nous examinerons diverses études afin de présenter et de décrire les différents aspects autour desquels ce projet a été pensé, allant de l'effort aérobie à la dérive cardiovasculaire en passant par les différents états dans lequel chaque séance sera réalisée. Cela nous permettra de définir la problématique que nous souhaitons aborder. Dans une seconde partie, nous présenterons les différents participants à cette analyse ainsi que le protocole établi pour isoler au mieux le phénomène de dérive cardiovasculaire. Nous détaillerons également les données qui seront mesurées et la méthode d'analyse des résultats obtenus. La troisième partie sera consacrée à la présentation des informations récoltées et de leur analyse, tant de manière globale que selon certains regroupements. Avant de conclure, nous discuterons des résultats, des conclusions qui en émergent, des limites éventuelles de certaines interprétations ainsi que des réponses que nous pouvons apporter à la problématique abordée dans le cadre de ce travail.

1.1 L'effort aérobie

Bien que Chamari et Padulo considèrent que les termes “exercice aérobie” et “exercice anaérobie” sont utilisés de manière inappropriée dans la littérature, il est communément admis que l'exercice aérobie, très souvent dénommé “endurance”, représente le type d'effort que l'organisme peut soutenir sur des temps de plusieurs heures, voire même sur un temps potentiellement infini. Il repose très majoritairement sur l'activation de la filière aérobie, utilisant l'oxygène pour la production d'adénosine triphosphate (ATP) à partir des substrats énergétiques disponibles dans le corps. L'exercice anaérobie quant à lui est un effort d'intensité plus élevée, soutenable quelques minutes et qui s'affranchit de l'oxygène pour la production d'ATP. Étant donné que l'effort aérobie est au cœur de ce projet, nous allons le détailler davantage. Selon Ferré et Leroux (p.329), le système aérobie est le système le plus complexe des 3 que le corps possède (parmi anaérobie alactique, anaérobie lactique et aérobie). Il se décompose en trois grandes étapes :

1. la glycolyse
2. le cycle de Krebs
3. une chaîne de transport des électrons pour fournir l'ATP

Bien que ce système soit le moins puissant, il est avant tout le plus économique, ce qui le rend particulièrement utile pour les efforts de moyenne ou longue durée. De plus, il empêche l'accumulation significative d'acide lactique dans les muscles, limitant ainsi la fatigue musculaire immédiate. Toutes ces caractéristiques permettent à ce système de favoriser une fatigue neuromusculaire et physiologique qui, bien que croissante au fil du temps, reste nettement moins prononcée que celle induite par le système anaérobie. L'effort aérobie est souvent étudié dans le cadre de la performance sportive, de l'amélioration de la condition physique et des adaptations physiologiques à l'entraînement. Il est également largement utilisé dans les études traitant de la dérive cardiovasculaire.

1.2 La dérive cardiovasculaire

Ekelund et Holmgren ont été les premiers à étudier les adaptations du système respiratoire et de l'appareil cardiovasculaire lors d'un effort long en 1964. Bien que le terme de dérive cardiovasculaire ne soit pas explicitement employé, leur étude caractérise tout de même des changements au niveau, notamment, du système cardiovasculaire. Ces changements sont décrits par “une pression artérielle systémique en baisse continue” ainsi qu’une “augmentation du rythme cardiaque” qui indique, selon l'étude, une “diminution continue du volume d'éjection systolique” (VES). Ces trois éléments définissent majoritairement aujourd'hui ce que l'on appelle communément la dérive cardiovasculaire.

Depuis cette première caractérisation, de nombreuses études cherchent à comprendre les origines de ces changements au cours du temps et de ce qui les influence. Dans son étude de 1976 sur les ajustements cardiovasculaire ainsi que dans son livre traitant de l'adaptation de la circulation sanguine dans le corps humain en 1986, Rowell a proposé que la réduction du VES résulte d'une augmentation progressive du flux sanguin cutané, en lien avec la thermorégulation, ainsi que d'une diminution de la pression veineuse centrale. Toujours d'après Rowell, l'augmentation du rythme cardiaque ne serait qu'un réflexe ayant pour but de maintenir la pression sanguine et le débit cardiaque.

Cependant, en 1999, Fritzsche *et al.* ont souhaité déterminer si la raison de la diminution du volume d'éjection systolique lors d'un effort prolongé pouvait plutôt être en lien avec une augmentation du rythme cardiaque plutôt que d'une augmentation du flux sanguin cutané lié au besoin de dispersion de chaleur du corps pendant l'effort. Ils en ont conclu que la diminution du

volume d'éjection systolique était, d'après eux, liée à l'augmentation du rythme cardiaque et non affectée par l'augmentation du flux sanguin cutané. Ceci fut appuyé, en 2001, par Coyle et González-Alonso.

En 2021, Souissi *et al.* ont mis en évidence pour la première fois que la dérive cardiovasculaire pouvait également constituer une stratégie de protection contre les dommages potentiels causés par des contractions intensives et prolongées du myocarde, ainsi qu'être liée à la présence d'oxyde nitrique - responsable de la vasodilatation - . Cependant les deux grandes perspectives concernant les raisons de l'apparition de la dérive cardiovasculaire, en particulier concernant la réduction du volume d'éjection systolique (VES), énoncées par Rowell et Fritzche restent prédominantes lorsqu'il s'agit d'expliquer la dérive cardiovasculaire.

En 1992, Montain et Coyle se sont eux intéressés à l'impact que pouvait avoir la déshydratation induite par l'effort sur la dérive cardiovasculaire. Dans le cadre de leurs travaux, ils ont mis en évidence que l'augmentation de la température corporelle et de la fréquence cardiaque, ainsi que la diminution du volume d'éjection systolique, sont "proportionnelles au degré de déshydratation accumulé pendant l'exercice". Ces conclusions ont été confirmées par une étude ultérieure menée par González-Alonso *et al.* en 1995; montrant également qu'une température élevée et un taux d'humidité important augmentent la dérive cardiovasculaire.

En 1998, Coyle a également démontré qu'environ "la moitié de la réduction du VES est due à la diminution du volume sanguin causée par la déshydratation pendant l'exercice, ce qui entraîne une hyperthermie". La moitié restante semble être liée à cette hyperthermie, ainsi qu'à d'autres facteurs tels que l'accélération du rythme cardiaque, qui réduisent le remplissage ventriculaire. Enfin, en 2006, Ganio *et al.* ont montré qu'il est possible de limiter la réduction du volume d'éjection systolique (VES) et de ses déterminants en compensant la déshydratation induite par l'effort pendant celui-ci, préservant ainsi le niveau de VO₂max.

La quasi-totalité des études mentionnées ci-dessus a été réalisée sur des sujets masculins. Bien que certains travaux incluent des participantes féminines, aucune analyse spécifique n'a été effectuée pour examiner les différences physiologiques entre hommes et femmes. En 2021, Stone *et al.* ont toutefois mené une étude sur "les effets du cycle menstruel sur la dérive cardiovasculaire et le VO₂max" auprès de sept femmes afin d'explorer l'impact potentiel de la progestérone et des œstrogènes sur ces phénomènes. Cela est particulièrement pertinent car la progestérone a tendance à augmenter la température corporelle et des études antérieures ont montré que l'hyperthermie est en partie responsable de la dérive cardiovasculaire. Bien que l'augmentation de la température corporelle ait été significative pendant la phase lutéale ($p < 0.05$), il semble que les différences de dérive cardiovasculaire et de modifications du VO₂max au cours d'un effort entre la phase lutéale et la phase folliculaire ne soient pas suffisamment significatives.

Nous avons constaté que la dérive cardiovasculaire est un sujet étudié depuis de nombreuses années et bien que notre compréhension des mécanismes impliqués s'améliore chaque jour, de nombreuses questions demeurent. Il semble cependant largement admis que l'augmentation de la fréquence cardiaque au cours d'un effort prolongé constitue un indicateur facilement mesurable de la dérive cardiovasculaire.

Selon Maughan et Shirrefs (2008), bien qu'il soit recommandé aux athlètes de s'entraîner en étant normalement hydratés, la plupart d'entre eux commencent souvent leurs exercices avec un certain degré de déshydratation. On peut donc supposer que cela s'applique également aux projets précédemment évoqués. Il est donc essentiel de déterminer comment garantir, autant que possible, que les sujets se trouvent dans un état physiologique que l'on pourrait qualifier de normal, c'est-à-dire ni déshydratés, ni privés de sommeil, ni à jeun, pour n'en citer que quelques-uns.

1.3 La déshydratation, le manque de sommeil et le jeûne

1.3.1 La déshydratation

Plusieurs marqueurs peuvent être utilisés pour évaluer le niveau d'hydratation d'une personne, parmi lesquels on peut citer l'osmolalité plasmatique, la couleur de l'urine et la masse corporelle. Minton et Eberman ont démontré en 2009 que l'osmolalité plasmatique augmente en cas de déshydratation. Cependant, la mesure de l'osmolalité nécessite une prise de sang et l'utilisation d'équipements spécifiques, rendant son analyse peu évidente. Cette impraticabilité avait déjà été repérée en 1994 par Armstrong *et al.* et, pour y remédier, ils ont développé une charte de la couleur de l'urine. Selon eux, la corrélation entre la couleur de l'urine et le niveau d'hydratation est suffisamment forte pour que ce marqueur soit considéré comme fiable, à condition qu'une mesure précise du niveau de déshydratation ne soit pas nécessaire. Ainsi, une couleur jaune pâle ou « couleur paille » indique une hydratation optimale, tandis qu'une couleur plus foncée suggère un état de déshydratation ; plus la couleur est foncée, plus le degré de déshydratation est important. Bien que, d'après Raymond et Yarger, certains régimes alimentaires ou traitements médicaux peuvent influencer la couleur de l'urine ou que sa couleur peut évoluer si l'analyse n'est pas réalisée immédiatement après le prélèvement (Adams *et al.*), on peut tout de même considérer la couleur de l'urine comme un indicateur fiable de l'état d'hydratation d'un individu, facilement vérifiable de surcroît.

Enfin, Riché, en 1998, ainsi que Costill *et al.*, en 2009, ont montré qu'une diminution de 2% du poids corporel lié due à la déshydratation peut entraîner une baisse jusqu'à 20% les performances physiques et cognitives. Cette mesure est également facilement réalisable à l'aide d'un pèse-personne.

1.3.2 Le manque de sommeil

En 2015, l'Académie américaine de la médecine du sommeil, en collaboration avec la Sleep Research Society, a recommandé aux adultes de dormir régulièrement un minimum de 7 heures par nuit pour maintenir une santé optimale. De manière similaire, la fondation du sommeil national recommande de dormir entre 7h et 9h par nuit pour les adultes. De nombreuses méthodes pour détecter le manque de sommeil existent. Dès 1985, un test de vigilance psychomotrice, corrélant le temps de réaction visuel au manque de sommeil, a été développé par Dinges et Powell. Une analyse de marqueurs inflammatoires tels que la protéine C-réactive (Liu *et al.*, 2014) ou le facteur nucléaire kappa B (Zielinski *et al.*, 2016) pourrait aussi être envisagée tout comme une étude des niveaux de cortisol, gréline et leptine. Cependant, toutes ces analyses sont complexes, difficiles à mettre en œuvre et coûteuses. Pour contrer ce problème, Thoret et al. ont démontré en 2020 qu'il est possible de détecter la privation de sommeil par une analyse vocale, ce qui facilite la détermination de l'état de dette de sommeil d'un individu. Cependant, cette méthode reste difficile à mettre en œuvre sans matériel adéquat. Pour obtenir ces résultats, les chercheurs ont utilisé un protocole consistant à faire dormir leurs sujets pendant 3 heures au lieu de 7 heures durant deux nuits consécutives, une approche dont nous pouvons nous inspirer.

1.3.3 Le jeûne

Bien que le jeûne puisse être défini de plusieurs manières, comme l'indiquent Koppold et al. (2024), nous limiterons ce sujet à ce qui est généralement compris par la population lorsqu'on évoque une situation « à jeun » : une abstinence alimentaire d'au moins 8 heures.

1.4 Problématique

Nous avons constaté que la grande majorité des études cherchent à comprendre ce qui se passe au niveau du système cardiovasculaire lors d'un effort aérobique prolongé. Cependant, il existe très peu de recherches sur l'impact d'un déséquilibre physiologique (manque de nourriture, manque de sommeil, situation de stress, manque de liquide, maladie etc.) présent avant même de réaliser un effort. Il est également reconnu que, bien qu'il soit recommandé de commencer une activité sportive en étant bien hydraté, la majorité des personnes ne l'est pas réellement ; cependant, l'ampleur de ce déficit reste inconnue.

Bruelhart, en 2014, s'est intéressée exclusivement à l'influence de la déshydratation avant l'effort sur la dérive cardiaque. Dans son étude, elle conclut que "l'effet de la déshydratation a une influence plus marquée sur la dérive cardiaque que le coût énergétique de la foulée."

En 1999, Spiegel et al. ont mené une étude sur l'impact de la dette de sommeil sur les fonctions métaboliques et endocriniennes du corps. Les principales conclusions de cette recherche indiquent une tolérance au glucose réduite, une concentration accrue en cortisol et une activité du système nerveux autonome renforcée, impliquant notamment une diminution de la variabilité de la fréquence cardiaque (HRV). Cependant, aucune information concernant la dérive cardiovasculaire n'a été rapportée.

De plus, l'exercice "à jeun" peut faire partie de plans d'entraînement spécifiques visant, entre autres, à entraîner le corps à utiliser davantage la lipolyse comme source d'énergie au détriment de la glycolyse.

Ces trois situations (déshydratation, manque de sommeil, jeûne) sont couramment rencontrées par les individus au cours de leur vie, les athlètes ne faisant pas exception, et peuvent survenir, par exemple, avant le début d'une séance d'entraînement. Bien que la perception de l'effort soit le meilleur indicateur, à condition d'être utilisée judicieusement, la fréquence cardiaque est, à mon avis, l'information que les sportifs, et les coureurs à pied en particulier, analysent en premier pour évaluer leur état de forme. Cependant, peu de recherches existent pour comprendre l'impact qu'une situation de déséquilibre physiologique peut avoir sur la fréquence cardiaque et sa tendance à s'élever au cours de l'effort (c'est-à-dire la dérive cardiaque).

Ainsi, ce mémoire s'attachera à répondre à la problématique suivante : l'influence de la déshydratation, du jeûne ou du manque de sommeil sur la dérive cardiovasculaire lors d'un effort aérobique en course à pied.

Dans un premier temps, nous tenterons d'évaluer l'impact de chaque situation sur la dérive cardiaque. Ensuite, nous comparerons ces situations entre elles afin de déterminer laquelle a le plus d'influence sur ce phénomène. En menant ce projet auprès d'une diversité de genres (hommes/femmes) et d'horizons sportifs (course à pied/autres), nous pourrons également comparer les résultats entre les genres et également déterminer si l'habitude de pratiquer la course à pied peut influencer différemment le phénomène de dérive cardiaque.

L'hypothèse de départ est que la déshydratation sera le facteur le plus influent sur la dérive cardiaque car elle est déjà clairement identifiée comme une des raisons de la dérive cardiovasculaire au fil du temps. En second lieu, nous postulons que le manque de sommeil aura également un impact significatif étant donné son rôle essentiel dans la récupération après l'effort et son influence sur le système nerveux autonome, qui se traduit par une diminution de la variabilité de la fréquence cardiaque (HRV) et une augmentation de la fréquence cardiaque au repos. Enfin, nous pouvons supposer que l'évolution de la dérive cardiaque sera comparable entre les hommes et les femmes. Cependant, il est envisageable que les personnes pratiquant la course à pied présentent des variations de dérive moins significatives que celles des autres, leur économie de course étant potentiellement plus efficace.

2.1 Participants

Les participants à ce projet, au nombre de 8, proviennent de profils sportifs variés, bien que la majorité d'entre eux pratique régulièrement la course à pied. Nous avons choisi d'élargir le champ d'étude en incluant des individus d'autres disciplines sportives afin d'examiner s'il existe des différences dans les résultats obtenus. Parmi les participants dont l'âge moyen est de 35 ans (+/- 4), se trouvent 3 femmes et 5 hommes. Tous ont pratiqué une activité sportive durant leur jeunesse et ont maintenu une pratique sportive continue et régulière depuis au moins 5 ans. Certains participants, bien qu'ils ne pratiquent pas la course à pied, ont accepté de participer aux différents exercices demandés. Parmi eux, une personne pratique le tennis, une autre le crossfit et une troisième le badminton. Parmi les cinq participants dont la course à pied est le sport principal, deux se consacrent exclusivement à cette activité (la piste, le cross-country, le trail, la route ou équivalents), tandis que trois adoptent une approche pluridisciplinaire en pratiquant des sports tels que le triathlon et le swimrun. Les profils des participants varient en termes de taille et de poids mais restent globalement homogènes lorsqu'on les regroupe par sexe. Les niveaux de pratique de chacun sont hétérogènes.

2.2 Description du protocole

Le protocole établi se compose de trois étapes, réalisées dans l'ordre suivant :

- a. Un entretien individuel
- b. Un test VAMEVAL
- c. Un exercice à réaliser dans 4 conditions différentes

2.2.1 L'entretien individuel

Un entretien individuel a été organisé avec chaque participant pour discuter de leur parcours sportif actuel, de leur historique de blessures ou de leurs blessures en cours. Cela a permis de s'assurer que les objectifs de ce travail pouvaient être atteints sans compromettre leur intégrité physique. Ensuite, le concept de l'échelle de Borg modifiée ([annexe 1](#)) a été expliqué à chaque participant. Enfin, il a été vérifié que chacun pouvait enregistrer de manière continue sa vitesse et sa fréquence cardiaque pendant chaque exercice afin d'identifier ceux qui pourraient nécessiter un prêt de matériel.

2.2.2 Le test VAMEVAL

Le test VAMEVAL a été réalisé simultanément par tous les participants sur une même piste d'athlétisme de 400 mètres. Ce test, développé par Georges Cazorla, permet de déterminer la vitesse maximale aérobie (VMA) de chaque individu.

Bien qu'il existe d'autres méthodes pour déterminer la VMA des athlètes, telles que le test demi Cooper ou le test de Luc Léger, le test VAMEVAL a été choisi. Cela s'explique par le fait qu'il impose une vitesse à maintenir (contrairement au demi Cooper) et se rapproche davantage de l'effort réalisé lors de la course à pied (tandis que le test de Luc Léger nécessite des allers-retours).

2.2.3 L'effort demandé

L'exercice consiste en une séance de course à pied de 40 minutes sur un terrain plat et non technique à une vitesse correspondant à 70% de la VMA de chaque participant.

2.2.4 Les conditions de réalisation et consignes

Les consignes établies pour garantir que chaque participant réalise les exercices dans les conditions requises ont été définies sur la base de l'analyse de la littérature effectuée dans le cadre de ce projet.

L'exercice devait être réalisé dans 4 conditions différentes :

- normale : l'état habituel dans lequel le participant effectue ses activités.
- déshydratation : réduction de la consommation hydrique habituelle de 1% du poids du corps pendant les 2 jours précédant l'exercice (eg. pour une personne pesant 70kg, réduire la consommation de 70cl sans compensation par des aliments riches en eau). L'état de déshydratation pouvait se confirmer, en plus du poids, par une vérification de la couleur de l'urine (plus foncée qu'à l'accoutumée).
- manque de sommeil : réduction d'1/3 du temps de sommeil habituel pendant les 2 nuits précédant l'exercice et siestes non autorisées.
- à jeun : au moins 8h sans manger ni fumer avant l'exercice. Uniquement la consommation d'eau était autorisée (pas de café, thé etc.).

Il a également été demandé aux participants de suivre certaines consignes afin d'assurer une reproductibilité optimale :

- ne pas effectuer l'exercice deux fois dans la même journée.
- courir à chaque fois à la même heure et sur le même parcours.
- toujours utiliser le même appareil pour enregistrer la fréquence cardiaque.
- s'assurer que chaque exercice se déroule, autant que possible, dans des conditions de chaleur et d'humidité comparables.
- courir dans la même tenue (aussi claire que possible pour éviter d'accentuer la déshydratation par la chaleur).
- être dans des conditions aussi similaires que possible en termes de quantité d'activité sportive, de sensations de stress, etc..
- éviter la consommation d'alcool dans les 72 heures précédant l'exercice.
- réaliser les exercices dans les mêmes phases du cycle menstruel, si applicable.
- maintenir une consommation de tabac équivalente, si applicable.

2.2.5 Informations complémentaires

Afin de minimiser les interférences dans la vie quotidienne de chaque participant, chacun a eu la liberté de choisir les moments propices pour réaliser chaque exercice, à condition de respecter les consignes établies. De plus, la possibilité d'un accompagnement à vélo a été offerte pour garantir le respect de l'allure à maintenir.

Enfin, les consignes de sécurité suivantes ont été communiquées :

- interrompre immédiatement l'effort en cas de vertiges, de blessure ou de tout autre signe mettant en danger la santé du participant.
- emporter une collation ou une gourde d'eau pour chaque effort afin de prévenir tout problème éventuel.
- être attentif aux sensations, surtout lors des sessions de déshydratation ou de manque de sommeil, afin d'éviter les risques inutiles.
- éviter de réaliser l'exercice les jours de forte chaleur ou lors de conditions météorologiques particulières.

2.3 Mesures

2.3.1 Test VAMEVAL

Deux informations ont été collectées lors du test VAMEVAL : la vitesse maximale aérobie (VMA) ainsi que l'évaluation de l'intensité de l'effort basée sur l'échelle de Borg (1970) dans sa version modifiée allant de 0 à 10 ([annexe 1](#)). La mesure de la VMA a permis de déterminer l'allure à laquelle chaque participant devait réaliser les exercices afin de maintenir un effort aérobie, évitant ainsi l'introduction d'autres variables susceptibles de nuire à l'objectif de ce projet.

2.3.2 Exercice

La fréquence cardiaque étant la mesure principale, elle a été enregistrée tout au long de l'effort. Chaque participant a utilisé le matériel dont il disposait, qu'il s'agisse d'une montre connectée avec capteur optique intégré, d'un brassard optique ou d'une ceinture cardiaque, cette dernière étant également prêtée si nécessaire. L'essentiel était de garantir l'utilisation du même matériel à chaque séance pour assurer une qualité de mesure uniforme. Il a également été demandé à chaque participant de se peser avant chaque exercice, de fournir leur ressenti de l'effort après chaque séance et de noter la couleur de leur urine avant de réaliser l'exercice en état de déshydratation.

Pour s'assurer de la reproductibilité des exercices, il a également été mesuré la température et le taux d'hygrométrie avant le départ via un hygromètre et un thermomètre portables. Cela a permis de contrôler les conditions environnementales et de minimiser l'impact des facteurs externes sur les résultats obtenus pour garantir une meilleure fiabilité des données collectées.

Chaque exercice était téléversé sur le réseau Strava et le fichier TCX (ou FIT) correspondant était ensuite récupéré pour être étudié. Ces fichiers contiennent toutes les mesures effectuées par le matériel utilisé durant la séance, permettant une analyse précise des valeurs obtenues, notamment la fréquence cardiaque, la distance parcourue et d'autres paramètres pertinents pour évaluer la performance et l'état physiologique des participants. Cela a permis d'assurer une collecte de données uniforme et structurée pour chaque session d'entraînement.

2.4 Analyses

Bien que l'effort demandé soit un effort aérobie, il existe un temps incompressible nécessaire à la fréquence cardiaque pour atteindre le niveau requis afin de répondre aux besoins du corps pour une intensité donnée. Ainsi, les 5 premières minutes de chaque séance n'ont pas été prises en compte dans l'analyse de la dérive cardiaque, ce qui laisse 35 minutes complètes d'enregistrement pour une analyse approfondie. Cette approche permet de se concentrer sur la période où la fréquence cardiaque est stabilisée et où les effets de la déshydratation, du manque de sommeil et du jeûne peuvent être plus aisément observés.

Pour définir la valeur de la dérive cardiaque sur les 35 minutes d'effort de chaque séance pour chaque participant, une fonction de régression linéaire a été utilisée. Cette méthode permet d'abord de normaliser les fluctuations inévitables de la mesure de la fréquence cardiaque, ainsi que de la fréquence cardiaque elle-même. Ensuite, elle offre une évaluation plus précise de la tendance générale de la fréquence cardiaque au cours de l'effort.

Le coefficient de pente résultant de cette régression sera l'indicateur principal de la dérive cardiaque. En étudiant et en comparant ce coefficient, nous pourrions identifier comment la déshydratation, le manque de sommeil et le jeûne influencent la dérive cardiaque chez les participants. Ce processus de régression linéaire facilitera également la visualisation des tendances et des différences, si elles existent, entre les groupes de participants.

Je n'ai pas réussi à trouver un outil informatique qui me permette d'afficher les informations pertinentes (comme la vitesse, la fréquence cardiaque et l'altitude) en fonction de la distance ou du temps, de définir des zones d'intérêt (notamment pour exclure les 5 premières minutes d'une séance) et de notamment pouvoir calculer facilement la dérive cardiaque. Ainsi, j'ai exploité mes compétences en informatique pour développer un logiciel répondant à ces exigences et me permettant de poursuivre ce travail. Le logiciel offre donc la possibilité d'afficher simultanément les courbes de vitesse, d'altitude et de fréquence cardiaque pour autant de séances que souhaité. À partir de cela, il est possible de définir graphiquement des zones d'intérêt en se basant sur les courbes et les sections pertinentes. Cela permet d'obtenir des informations sur la fréquence cardiaque moyenne, l'allure moyenne, l'altitude, ainsi que le gain et la perte d'altitude, la distance parcourue et, enfin, le coefficient de pente de la dérive cardiaque par zone. Chaque zone d'intérêt pouvant être ajustée ou supprimée si besoin, il a donc été facile par la suite de comparer chaque séance d'un même participant, d'observer rapidement l'impact des différentes conditions sur sa dérive cardiaque, et de récupérer la valeur du coefficient de dérive cardiovasculaire pour chaque séance afin de l'analyser. Vous trouverez un [exemple](#) en annexes de la manière dont a été utilisé ce logiciel dans le cadre de ce projet.

Une fois les données relatives au ressenti de l'effort (RPE) recueillies après chaque séance ainsi que la pente de la dérive cardiaque extraites pour chaque participant, nous appliquerons un test de Student pour échantillons appariés afin d'analyser les résultats du groupe dans son ensemble et de comparer les différentes situations entre elles. Par la suite, nous examinerons les résultats des hommes par rapport aux femmes et ceux des coureurs par rapport aux autres athlètes en utilisant un test t pour échantillons indépendants pour chacune des situations.

Nous commencerons par présenter les mesures effectuées lors du test VAMEVAL ainsi que l'évolution du poids des participants et de la couleur de leur urine. Ensuite, nous examinerons les conditions de température et d'humidité dans lesquelles se sont déroulées les séances. Nous aborderons ensuite les résultats obtenus concernant les mesures de ressenti de l'effort (RPE) et la dérive cardiaque. Nous évaluerons d'abord l'évolution de la perception de l'effort, suivie de celle du coefficient de dérive cardiaque. Les résultats seront présentés de manière systématique : d'abord en analysant l'ensemble du groupe, puis en divisant les participants en deux sous-groupes. Nous commencerons par comparer les résultats selon le genre (hommes/femmes), puis nous nous pencherons sur les différences entre les personnes dont le sport principal est la course à pied et les autres.

3.1 Données générales

Suite au test VAMEVAL, on peut voir que les valeurs de VMA ont un écart-type de 1,92 et un coefficient de variation de 12% tandis que le RPE moyen est de 9. On constate aussi une perte de poids moyenne de 0.86% accompagnée d'une couleur d'urine généralement foncée chez tous les sujets lors de l'exercice effectuée en état de déshydratation. Le poids diminue en moyenne de 0.02% en cas de manque de sommeil et de 0.16% lorsque les participants sont à jeun.

VAMEVAL		Evolution du poids				Couleur urine
VMA (km/h)	RPE	Normal	Déshydratation	Sommeil	À jeun	
14	8	=	-0.7%	+0.1%	-0.2%	
16.5	9	=	-0.85%	+0.05%	-0.1%	
15	9	=	-1.2%	=	-0.3%	
17	10	=	-1.1%	-0.15%	=	
14.5	9	=	-1%	+0.15%	-0.1%	
19	10	=	-0.75%	=	-0.15%	
17.5	8	=	-0.6%	+0.05%	-0.1%	
13.5	10	=	-0.7%	-0.1%	-0.2%	

Tableau 1 : données du test VAMEVAL, évolution du poids en fonction de l'état et couleur de l'urine en étant déshydraté

3.2 Conditions extérieures

L'écart-type moyen de la température extérieure est de 1.64°C et son coefficient de variation est de 5.19%. Concernant l'hygrométrie, l'écart-type est de 7.85% avec un coefficient de variation de 8.74%.

Ecart-type et coefficient de variation des conditions extérieures

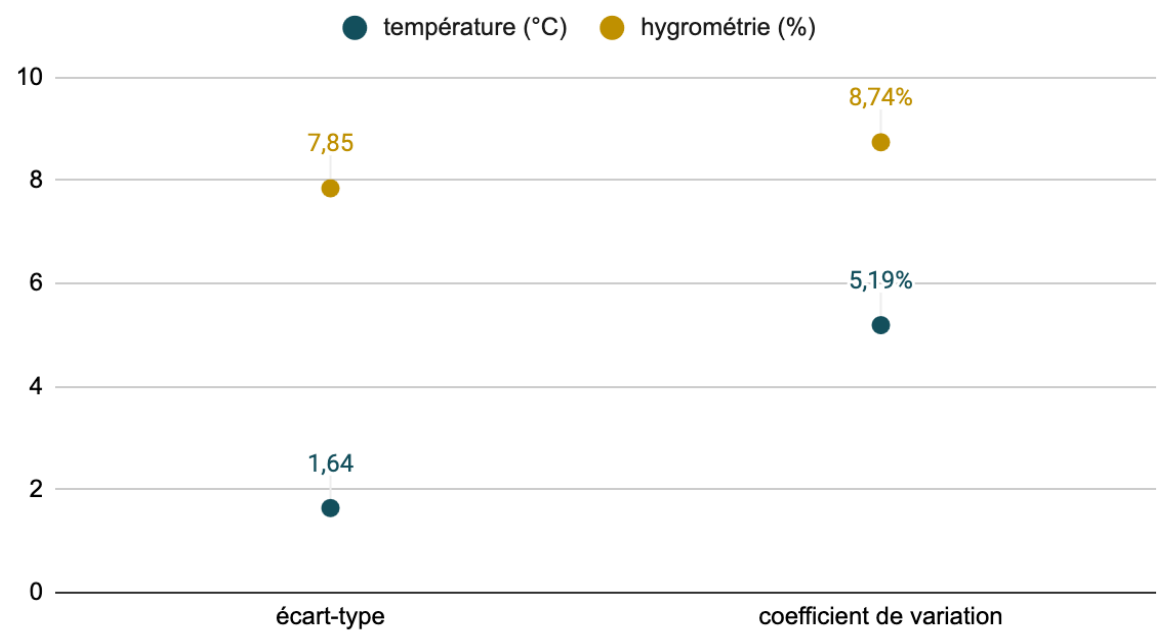


Figure 1 : Écart-type et coefficient de variation moyens des conditions extérieures

3.3 Évolution du ressenti de l’effort (RPE)

En utilisant la situation normale comme référence, on observe que le ressenti de l'effort augmente en moyenne de 0.63 lorsque le sujet est déshydraté, de 0.5 en cas de manque de sommeil et de 0.25 lorsqu'il est à jeun. L'augmentation du ressenti est significativement différente dans le cas de la déshydratation ($p < 0.05$) tandis qu'il n'y a pas de différence notable lorsque le sujet manque de sommeil ($p = 0.9$) ou est à jeun ($p = 0.353$).

En comparant les autres conditions entre elles, seule la situation de déshydratation par rapport à celle de jeûne présente une différence significative ($p < 0.05$). Les autres conditions ne montrent pas de différence significative.

Ressenti de l'effort (noté sur 10)

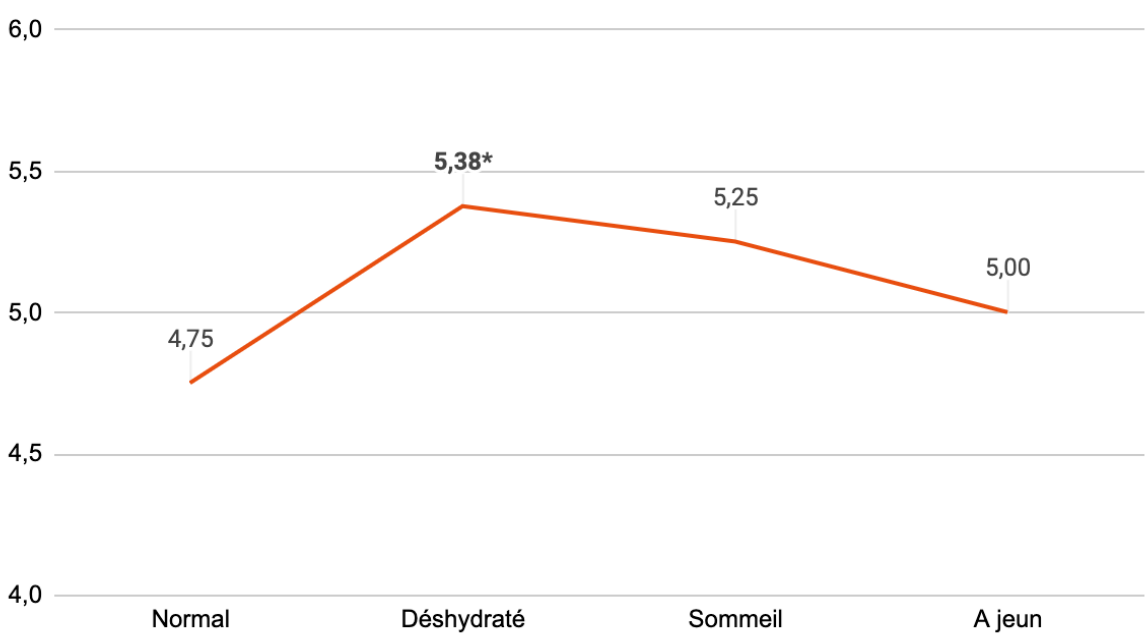


Figure 2 : Moyenne du ressenti de l’effort par état

Si l'on examine maintenant l'évolution du ressenti de l'effort chez les hommes et les femmes en comparant chaque situation, on constate qu'il n'y a aucune différence significative dans aucune des conditions ($p = 0.098$ en condition normale, $p = 0.63$ en état de déshydratation, $p = 0.635$ en manque de sommeil et $p = 0.31$ à jeun). Il est à noter que les femmes ressentent l'effort de manière moins intense, avec une moyenne de -0.53 , lorsqu'elles sont à jeun par rapport aux hommes.

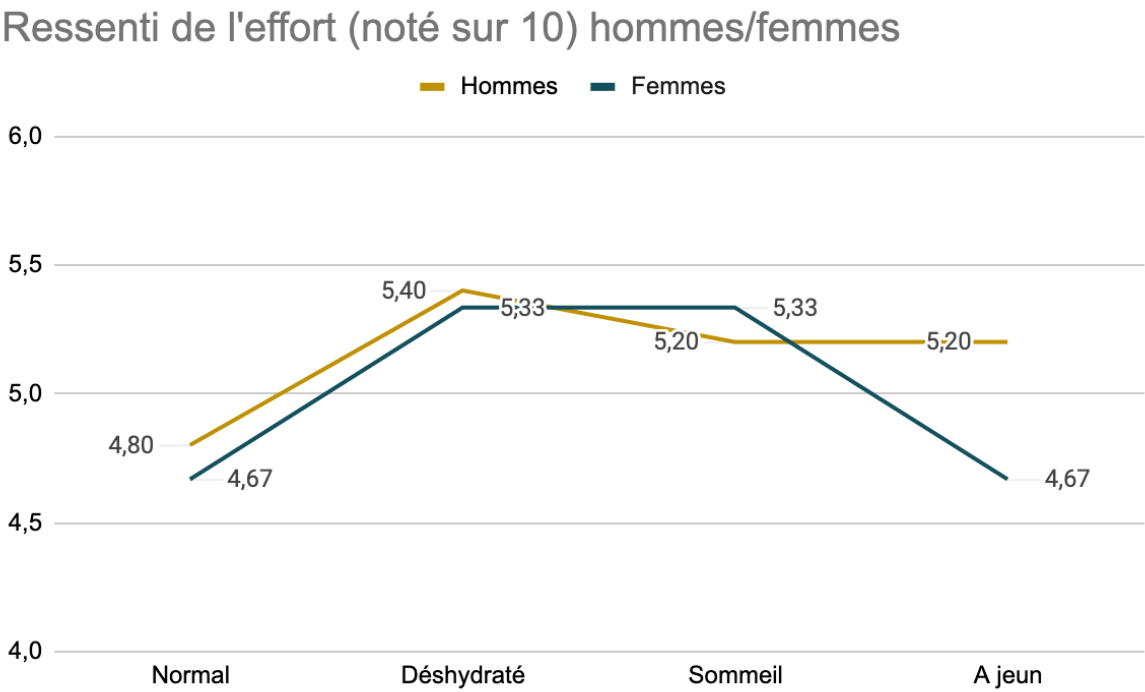


Figure 3 : Moyenne du ressenti de l'effort pour les hommes et les femmes par état

La même tendance se vérifie lorsque l'on compare les sujets pratiquant la course à pied avec les autres ($p = 0.658$ en condition normale, $p = 0.309$ en état de déshydratation, $p = 0.66$ en manque de sommeil et $p = 0.54$ à jeun). On peut constater graphiquement que les personnes ne pratiquant pas la course à pied ont un RPE plus faible (-0.4 en moyenne) lorsqu'elles sont en manque de sommeil.

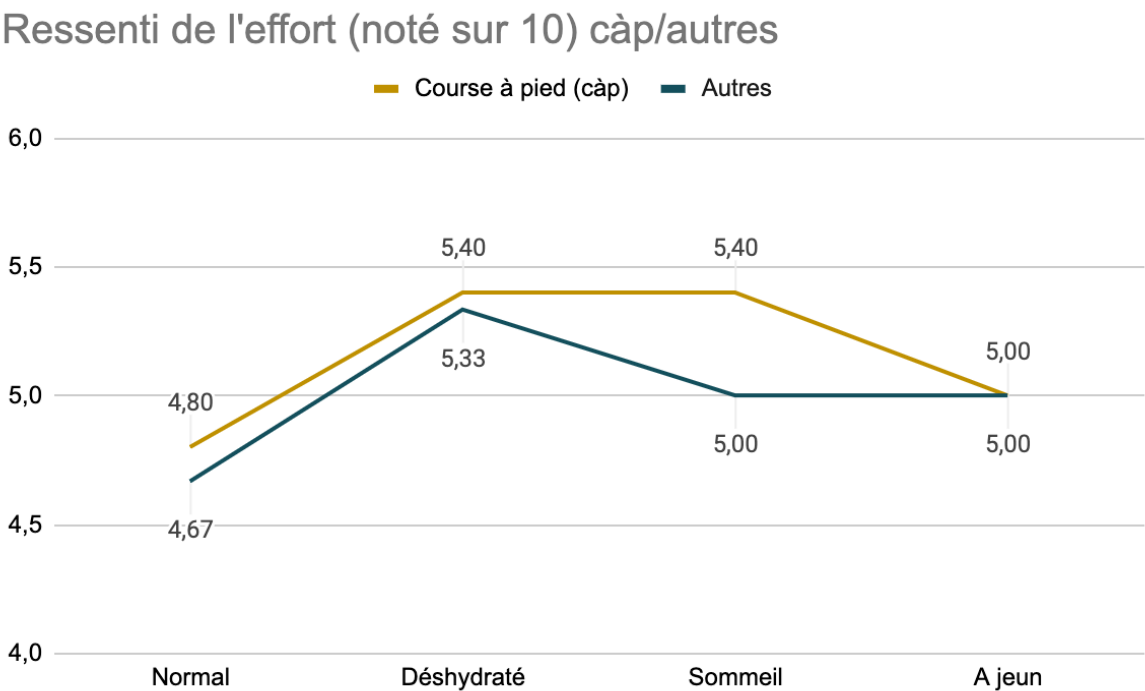


Figure 4 : Moyenne du ressenti de l'effort pour les personnes faisant de la course à pied et les autres par état

3.4 Évolution du coefficient de dérive cardiaque

Nous allons d'abord examiner les valeurs individuelles des participants en ce qui concerne la dérive cardiaque. Cette analyse révèle que la dérive cardiaque se manifeste dans chaque situation, y compris lorsque les sujets se trouvent en condition normale (coefficient > 1). Nous observons également que les coefficients de dérive cardiaque lors des séances normales peuvent varier considérablement d'un participant à l'autre, allant du simple au double. Enfin, il est à noter qu'un participant (sujet 2 - homme pratiquant un autre sport que la course à pied -) présente une propension plus marquée à subir une dérive cardiaque significative lorsqu'il est en manque de sommeil. Ainsi, la suite de la présentation des résultats se concentrera sur les autres participants, qui affichent une tendance d'évolution similaire. Toutefois, les graphiques contenant les valeurs du sujet 2 sont disponibles en [annexe 3](#), [annexe 4](#) et [annexe 5](#).

En ce qui concerne tous les autres sujets, ils montrent une tendance à avoir une dérive cardiaque plus importante en situation de déshydratation (coefficient multiplié par 2.4 en moyenne), suivie par le manque de sommeil (coefficient multiplié par 1.9 en moyenne) et enfin en étant à jeun (coefficient multiplié par 1.4 en moyenne).

Dérive cardiaque par sujet

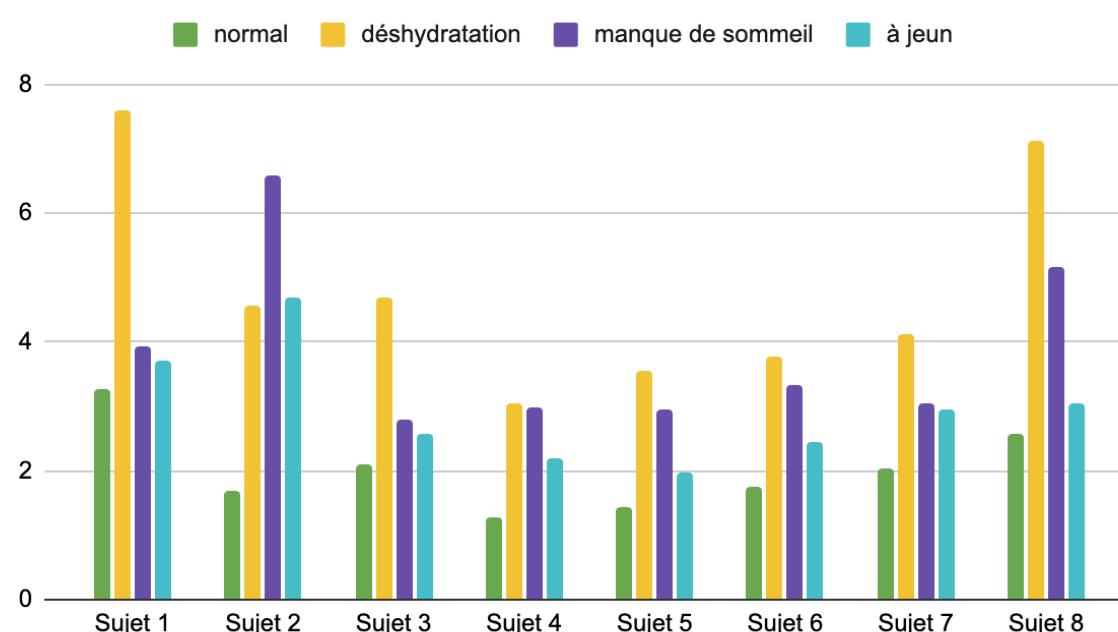


Figure 5 : Coefficient de dérive cardiaque par sujet et par état

En appliquant un test de Student pour échantillons appariés sur les 7 sujets restants afin de comparer chaque situation, nous observons une différence significative lorsque les sujets sont déshydratés par rapport à lorsqu'ils sont en condition normale ($p < 0.05$). En revanche, aucune des autres conditions ne montre de différence significative par rapport à la condition normale ($p = 0.14$ en manque de sommeil et $p = 0.09$ à jeun)..

En comparant les autres situations entre elles, nous constatons une différence significative entre la déshydratation et le manque de sommeil ($p < 0.05$), ainsi qu'entre la déshydratation et le jeûne ($p < 0.01$). Cependant, il n'y a aucune différence significative observée entre le manque de sommeil et le jeûne ($p = 0.1$).

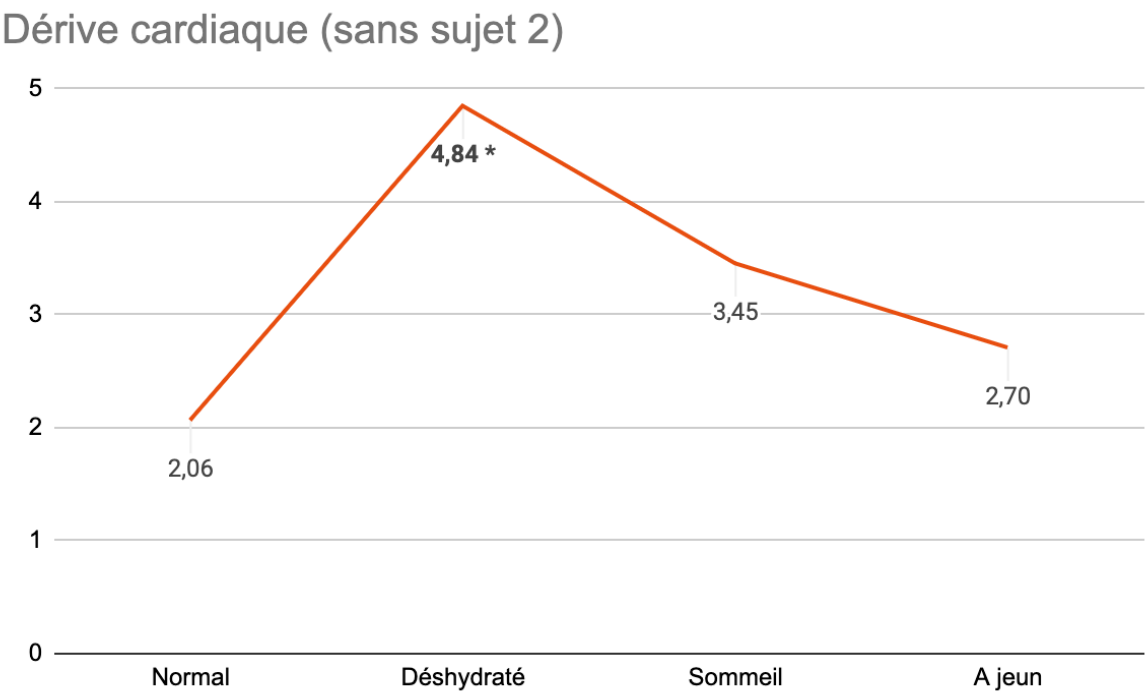


Figure 6 : Coefficient de dérive cardiaque moyen par état, sujet 2 exclu

Nous allons maintenant procéder à l'utilisation d'un test t pour échantillons indépendants afin de comparer, dans un premier temps, les résultats entre les hommes et les femmes. Bien que les graphiques montrent que le coefficient de dérive cardiaque est en moyenne plus élevé chez les femmes, seule la condition de déshydratation révèle une différence significative entre les deux groupes ($p = 0.02$). Toutes les autres situations ne sont pas statistiquement significatives ($p = 0.56$ en situation normale, $p = 0.8$ en manque de sommeil et $p = 0.19$ à jeun).

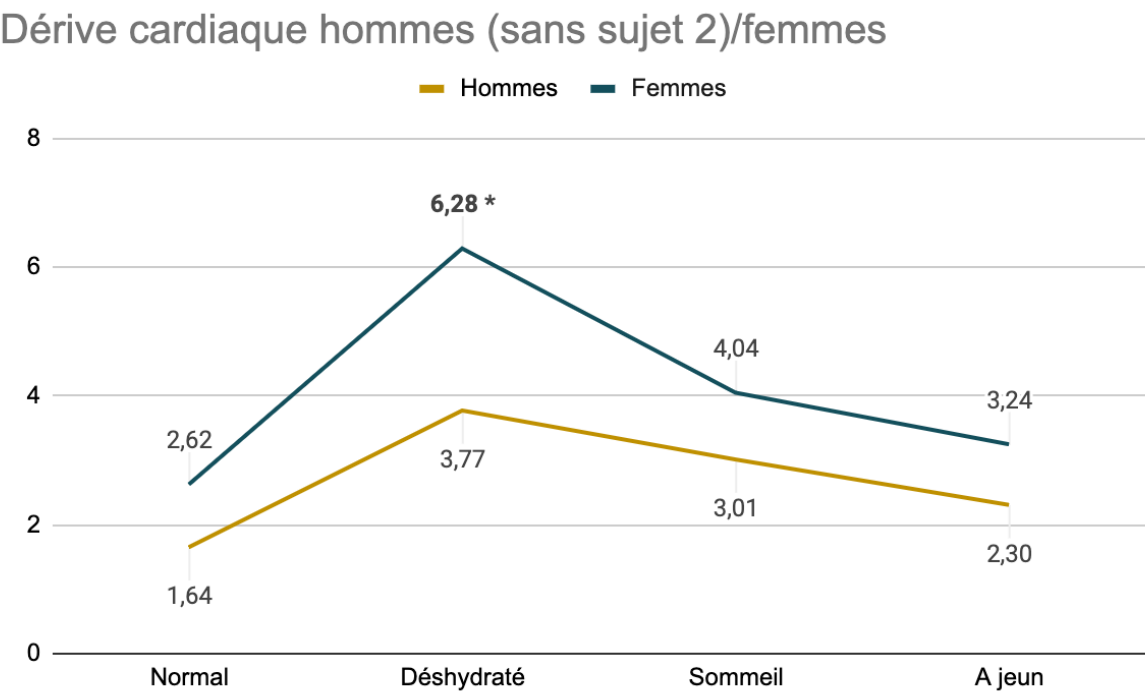


Figure 7 : Coefficient de dérive cardiaque moyen hommes (sujet 2 exclu)/femmes

Les graphiques montrent qu'en moyenne le coefficient de dérive cardiaque est inférieur chez les personnes qui pratiquent principalement la course à pied par rapport à celles qui pratiquent d'autres activités mais aucune différence statistiquement significative n'est observée. En effet, $p=0.7$ dans l'état normal, $p=0.8$ en état de déshydratation, $p=0.68$ en manque de sommeil et $p=0.66$ à jeun. Il est intéressant de souligner que l'évolution du coefficient de dérive cardiaque est plus marquée chez les personnes qui ne pratiquent pas principalement la course à pied lorsqu'elles sont déshydratées.

Dérive cardiaque course à pied/autres (sans sujet 2)

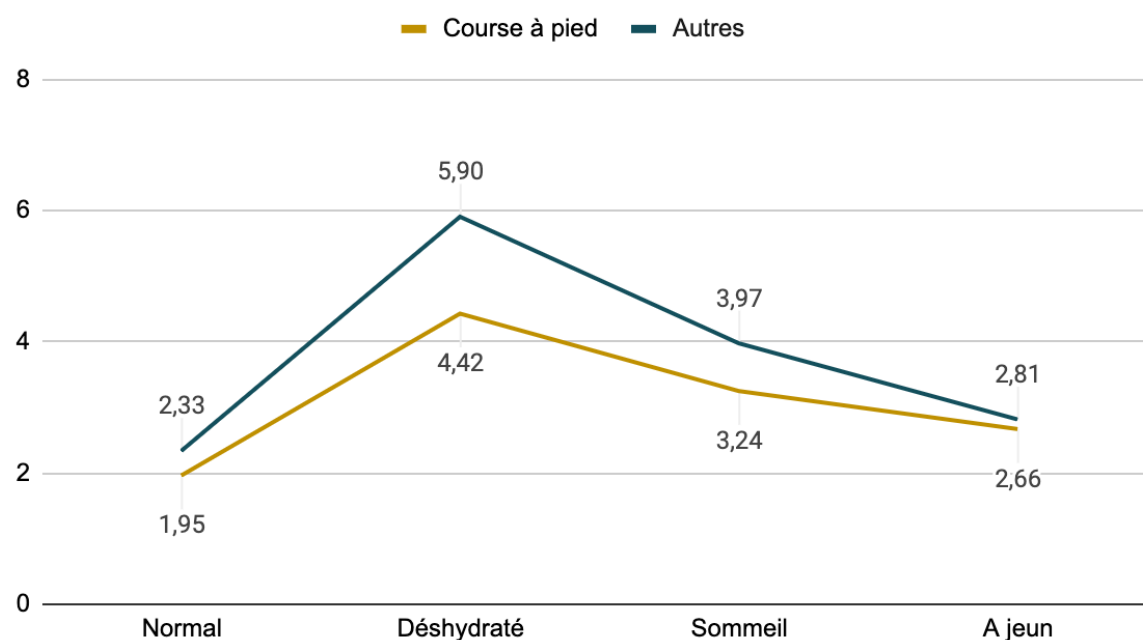


Figure 8 : Coefficient de dérive cardiaque moyen course à pied/autres (sujet 2 exclu) par état

4.1 Résultats

Tout d'abord, il est important de souligner que réaliser un effort aérobie d'une durée de 40 minutes s'est révélé judicieux pour observer une dérive cardiaque, comme l'a démontré sa présence dans toutes les situations étudiées. Pour garantir que chaque exercice était réalisé dans la filière aérobie, il était essentiel d'effectuer le test VAMEVAL, permettant à chaque participant de connaître l'allure à respecter. En raison du coefficient de dispersion et de la variabilité des résultats, imposer une allure fixe aurait été incohérent avec l'objectif de maintenir un effort purement aérobie. Avec un RPE moyen de 9 lors du test, il est évident que chaque participant a effectué l'effort de manière consciencieuse. Par ailleurs, le protocole d'hydratation semble avoir été respecté avec une perte moyenne de 0,85% du poids corporel par participant. La couleur de l'urine, généralement plus foncée que celle observée chez une personne correctement hydratée confirme également un certain état de déshydratation. La réduction du poids corporel pendant l'effort à jeun peut être attribuée à l'absence de nourriture bien qu'elle demeure raisonnable, atteignant une moyenne de 0.16%. En ce qui concerne les conditions extérieures lors des séances, elles demeurent assez constantes avec un coefficient de variation toujours inférieur à 10%, limite généralement acceptée. Cela témoigne d'une certaine homogénéité, essentielle pour garantir au maximum la reproductibilité des résultats.

Bien que l'analyse de la perception de l'effort révèle une augmentation statistiquement significative lors des efforts réalisés en état de déshydratation, l'écart-type des moyennes pour chaque situation est faible (0,274). Cela indique une certaine cohérence dans la perception de l'effort, ce qui suscite des doutes quant à la pertinence des conclusions que l'on pourrait en tirer dans de telles conditions. Cela pourrait être attribué au fait que la quasi-totalité des sujets n'avait jamais utilisé ce système auparavant ainsi qu'au fait que l'effort aérobie à vitesse constante ne nécessite pas nécessairement un effort suffisamment intense pour être perçu comme plus ou moins difficile.

En revanche, les données recueillies sur le coefficient de dérive cardiaque semblent corroborer les observations de Bruehlhart (2014) qui avait constaté que la déshydratation avait un impact significatif sur la dérive cardiaque, validant ainsi notre première hypothèse de départ. Cela était d'autant plus attendu car la plupart des études sur la dérive cardiovasculaire s'accordent à affirmer que la déshydratation résultant d'un effort physique a un impact significatif sur cette dérive. Ainsi, commencer un effort en étant déjà déshydraté, ce qui engendre un effet cumulatif, avait peu de chances d'aboutir à des résultats différents. Il est essentiel de souligner de nouveau que compenser cette déshydratation contribue à ralentir la dérive cardiovasculaire comme l'indiquent les travaux de Ganio *et al* (2005). De plus, la déshydratation est la seule condition où une différence significative a été observée entre les hommes et les femmes. Bien que chaque femme ait réalisé les séances en phase lutéale, ce qui entraîne une température corporelle supérieure en raison de la prédominance de la progestérone, cela ne peut pas être retenu comme explication (cf. les travaux réalisés par Stone *et al.*). Les différences observées entre les hommes et les femmes peuvent être attribuées à d'autres facteurs physiologiques - à déterminer - qui influencent la manière dont chaque sexe réagit dans diverses conditions.

Concernant la comparaison entre les athlètes dont le sport principal est la course à pied et ceux pratiquant d'autres disciplines, aucune différence significative n'est à signaler. Cependant, les graphiques montrent que l'évolution du coefficient de dérive cardiaque est, en moyenne, moins marquée chez les coureurs. L'hypothèse avancée pour expliquer cette situation est que l'économie de course que chaque coureur développe au fil de sa pratique, même sans exercices spécifiques, contribue à réduire le coût énergétique par rapport aux sujets ayant une pratique limitée de la course à pied.

Une autre hypothèse de ce projet était que le manque de sommeil pouvait également avoir une influence significative sur la dérive cardiaque, bien que cet effet soit inférieur à celui de la déshydratation. Bien que cette hypothèse ne soit pas statistiquement significative, elle est néanmoins observable à partir des résultats obtenus, montrant, qu'au sein de ce projet, le manque de sommeil a un impact sur la dérive cardiaque, juste après celui de la déshydratation. Cela se vérifie, que l'on examine les résultats dans leur ensemble ou en réalisant des analyses au sein de groupes distincts. Cela peut s'expliquer par le fait que le sommeil joue un rôle crucial dans la récupération, affectant notamment le système nerveux autonome; en cas de manque de sommeil, il est courant de constater une augmentation de la fréquence cardiaque au repos et on peut supposer que cela affecte la dérive cardiaque.

Enfin, concernant les efforts effectués à jeun, il semble qu'ils aient peu d'impact sur la dérive cardiaque. On pourrait même supposer que l'absence d'habitude à activer efficacement la lipolyse est à l'origine de la légère augmentation du coefficient de dérive cardiaque observé. Bien que ce type d'effort soit recommandé pour développer certains aspects physiologiques, il est intéressant de noter que les séances effectuées dans ces conditions ne devraient pas exercer un impact significatif sur l'évolution du rythme cardiaque.

Ainsi, il est clair qu'une bonne hydratation et un sommeil adéquat contribuent à réduire, entre autres, l'évolution de la dérive cardiaque. Il est également pertinent d'informer les personnes qui envisagent de s'entraîner à jeun ou en situation de privation de sommeil (dans le cadre d'un entraînement spécifique) que, dans le premier cas (à jeun), le rythme cardiaque ne devrait pas nécessairement augmenter de manière excessive. En revanche, dans le second cas (manque de sommeil), il est très probable qu'une dérive cardiaque plus marquée se produise par rapport à la normale.

En ce qui concerne les comparaisons entre les groupes, il est à noter qu'une seule différence significative a été observée entre les hommes et les femmes lors d'un effort aérobie en course à pied, ce qui remet en question les autres hypothèses formulées dans le cadre de ce projet.

NB: tous ces résultats demeurent identiques avec l'inclusion du sujet 2 dans les analyses statistiques.

4.2 Limites

La première limite évidente de cette étude réside dans le nombre restreint de participants ($n=8$), ce qui limite la portée statistique des résultats. De plus, un sujet a dû être exclu de l'analyse concernant l'évolution du coefficient de dérive cardiaque, réduisant encore davantage la taille de l'échantillon et, par conséquent, la robustesse des conclusions. De plus, bien que le protocole se soit basé sur des recommandations issues de la littérature, la vérification de la déshydratation et du manque de sommeil est restée relativement sommaire. En effet, la déshydratation a été évaluée uniquement via la perte de poids et la couleur de l'urine tandis que le manque de sommeil n'a pas été mesuré de manière précise, ce qui pourrait limiter la précision des résultats obtenus dans ces conditions. Aucune mesure spécifique n'a non plus été mise en place pour réduire la variabilité dans l'état de déshydratation des participants et il est difficile de s'assurer que tous les sujets avaient un niveau de déshydratation équivalent. Le même problème se pose pour la privation de sommeil : chaque individu réagissant différemment à la fatigue, il n'a pas été possible de valider de manière fiable leur niveau de fatigue réel ni de garantir qu'il était équivalent pour chacun.

En ajoutant à ces limites celles liées à la mesure de la fréquence cardiaque, la maîtrise des éléments extérieurs tels que la température et l'hygrométrie, ainsi que le respect de l'allure imposée lors des séances, la fiabilité des résultats obtenus s'en trouve réduite. Il a été tenté de minimiser autant que possible certains de ces aspects, notamment en s'assurant que chaque sujet utilise

systématiquement le même appareil pour mesurer la fréquence cardiaque, garantissant ainsi une certaine cohérence dans les mesures. Il est à noter que la majorité des séances a été réalisée avec un cardiofréquencemètre optique (au poignet via une montre ou un brassard), ce qui a inévitablement réduit la précision des données obtenues par rapport à un capteur thoracique. De plus, les séances ayant été réalisées en extérieur, il était impossible de garantir une température et une hygrométrie constantes pour chaque session. Cependant, des efforts ont été déployés pour que les variations climatiques restent aussi minimales que possible, en planifiant les séances dans des conditions similaires. Bien que cette consigne ait été respectée au maximum, compte tenu de la dépendance à la météo, on ne peut pas exclure qu'une variation de température d'environ 1,6°C en moyenne, combinée à une variation d'hygrométrie moyenne de presque 8%, puisse avoir un impact sur la dérive cardiovasculaire, notamment en cas de combinaison de températures et d'hygrométrie plus élevées. Ces facteurs environnementaux pourraient altérer la réponse physiologique des participants et ainsi influencer les résultats observés.

Enfin, en ce qui concerne l'allure que chaque sujet devait respecter, un accompagnateur à vélo était prévu pour garantir que cette allure soit maintenue. Toutefois, certaines séances ont été réalisées sans cet accompagnement, en raison de contraintes logistiques. Ces quatre éléments - le faible nombre de sujets, la mesure de la fréquence cardiaque, les variations de température et d'hygrométrie, ainsi que la régulation de l'allure - impliquent de nouveau une certaine réserve quant à l'interprétation des résultats obtenus. De plus, avec un nombre de participants aussi réduit, il aurait été pertinent de se concentrer davantage sur des athlètes pratiquant majoritairement la course à pied afin d'éviter l'introduction de trop nombreuses variables.

Bien qu'il soit fort probable que l'ordre d'importance des facteurs influençant la dérive cardiovasculaire - déshydratation, suivi du manque de sommeil, puis de l'effort à jeun - soit correct, l'évaluation précise de leur impact respectif mérite d'être discutée. Cela nécessite un approfondissement des recherches, avec une étude qui maîtrise mieux les variables extérieures et les caractéristiques individuelles des participants. Une approche plus rigoureuse permettrait d'établir des conclusions plus solides concernant les effets de chacun de ces facteurs sur la dérive cardiovasculaire. Il serait également bénéfique d'envisager des travaux avec un plus grand nombre de participants ainsi que des méthodes de mesure plus précises pour enrichir les connaissances dans ce domaine.

4.3 Perspectives

Maintenant que les limites ont été clairement énoncées, il est essentiel de proposer quelques perspectives et idées pour améliorer ce travail. Tout d'abord, étant donné que le thème de ce projet est la dérive cardiaque, il serait judicieux d'assurer une mesure plus fiable du rythme cardiaque et de son évolution en utilisant à chaque fois une ceinture cardiaque. Ce type de dispositif offre généralement une précision supérieure par rapport aux capteurs optiques, en réduisant les artefacts de mouvement et en fournissant des données plus cohérentes pendant l'effort. En plus de l'amélioration des dispositifs de mesure, il serait pertinent d'élargir l'échantillon en incluant un plus grand nombre de participants, en veillant à ce qu'ils aient des niveaux d'entraînement et des caractéristiques physiques similaires. Cela pourrait aider à réduire la variabilité des données et à améliorer la robustesse des résultats. En ciblant spécifiquement des groupes homogènes, comme des athlètes ayant un niveau de pratique comparable ou des individus avec des morphologies similaires, il serait possible de mieux isoler les effets des facteurs étudiés, tels que la déshydratation, le manque de sommeil et l'état de jeûne. De plus, cette approche permettrait d'explorer les différences potentielles entre les sous-groupes, par exemple entre différents niveaux d'entraînement (débutants, intermédiaires, avancés) ou entre genres. Une telle étude pourrait également contribuer à une meilleure compréhension des mécanismes physiologiques sous-jacents à la dérive cardiaque et à l'efficacité des stratégies d'entraînement.

Il est également important de renforcer la rigueur des méthodes de validation de l'état de déshydratation en utilisant des tests plus objectifs comme l'osmolarité urinaire et de mieux évaluer la privation de sommeil. De plus, il serait pertinent de contrôler l'allure en utilisant des tapis de course en intérieur pour standardiser la vitesse et minimiser les variables externes tout en réalisant les tests dans un environnement contrôlé afin d'assurer des conditions uniformes.

En outre, il serait intéressant d'élargir la recherche pour explorer l'impact de la déshydratation, du manque de sommeil et du jeûne sur d'autres variables physiologiques. Par exemple, mesurer l'évolution de la température corporelle avant et après l'effort pourrait donner des indications sur la capacité de régulation du corps dans différentes conditions et évaluer si cette évolution est corrélée avec les changements du coefficient de dérive cardiaque. De plus, analyser le niveau de lactatémie fournirait des informations intéressantes sur la réponse physiologique du corps en fonction de l'état de départ des participants.

Enfin, examiner la dérive cardiaque dans des situations combinées — déshydratation et fatigue, déshydratation et jeûne, fatigue et jeûne, ainsi que les trois facteurs ensemble — offrirait une perspective plus complète sur la manifestation de ce phénomène dans divers contextes et enrichirait notre compréhension de l'influence de ces facteurs sur la dérive cardiaque en réponse à un effort donné.

Bien que l'idéal soit de réaliser un effort en état d'homéostasie, il est rare que cela soit effectivement le cas. Pour diverses raisons, qu'elles soient intentionnelles ou non, de nombreuses personnes se retrouvent souvent sous-hydratées, privées de sommeil ou à jeun avant de commencer une activité physique. Ces conditions peuvent influencer la réponse physiologique du corps pendant l'exercice, notamment en ce qui concerne la dérive cardiovasculaire. Ce phénomène, observable par une augmentation au fil du temps de la fréquence cardiaque lors d'un effort à intensité constante, peut être intéressant à surveiller et à analyser au fil des entraînements. En effet, une dérive cardiaque de plus en plus faible indiquerait une meilleure adaptation du corps à l'effort qui lui est demandé. Bien que les recherches progressent sur les raisons exogènes et endogènes de la dérive cardiaque pendant l'effort, peu d'études se sont penchées sur l'influence d'un corps en déséquilibre physiologique avant d'effectuer un effort sur ce phénomène; situation qui pourrait fausser l'analyse de la dérive cardiaque. À partir de ce constat, il est essentiel d'aider les athlètes à relativiser les variations brusques de leur dérive cardiaque afin qu'ils ne remettent pas en question leurs capacités ou leurs efforts quotidiens. Ainsi, il était pertinent d'explorer l'influence de situations spécifiques sur la dérive cardiaque lors d'un effort en comparaison avec celle observée dans des conditions habituelles. Ainsi, huit participants ont réalisé une séance de course à pied en effort aérobie (70% de VMA) pendant 40 minutes sur un terrain plat et non technique, dans quatre états différents : normal, sous-hydraté, en manque de sommeil et "à jeun". L'objectif de cette étude était d'analyser la variation du coefficient de dérive cardiaque entre les différents efforts et d'observer l'évolution du RPE correspondant. L'hypothèse principale de l'étude postulait que la déshydratation aurait un impact significatif sur l'évolution du rythme cardiaque durant l'effort, tandis que le manque de sommeil exercerait également une influence notable. En revanche, il était anticipé que les efforts réalisés "à jeun" n'auraient qu'un impact limité, et que les RPE correspondants seraient respectivement plus élevés. Les données recueillies ont effectivement révélé une augmentation significative du coefficient de dérive cardiaque chez les sujets déshydratés, contrairement aux états de manque de sommeil et de jeûne. Cependant, il apparaît que le manque de sommeil influence également l'augmentation du coefficient de dérive cardiovasculaire, bien que son impact soit moins prononcé. Concernant la perception de l'effort, aucune donnée significative n'a pu être extraite de cette étude, probablement en raison de l'intensité de l'effort demandé, qui n'était pas suffisamment élevée pour provoquer une variation notable du RPE.

Un plus grand nombre de participants, des conditions d'effort mieux maîtrisées (comme la température, l'hygrométrie et la vitesse) ainsi qu'une mesure de la fréquence cardiaque plus rigoureuse via une ceinture cardiaque permettraient d'approfondir ces résultats. Il serait également pertinent de mener cette expérience en combinant les différents états de déséquilibre physiologique, afin d'obtenir une perspective plus complète sur l'impact de la déshydratation, du jeûne et du manque de sommeil sur la dérive cardiovasculaire lors d'un effort aérobie en course à pied.

- Adams, J.D., Kavouras, S.A., Johnson, E.C., Jansen, L.T., Capitan-Jimenez, C., Robillard, J.I., and Mauromoustakos, A., 2017. The effect of storing temperature and duration on urinary hydration markers. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 27(1), pp. 18-24.
- Armstrong, L.E., Maresh, C.M., Castellani, J.W., Bergeron, M.F., Kenefick, R.W., LaGasse, K.E., and Riebe, D., 1994. Urinary indices of hydration status. *International Journal of Sport Nutrition*, 4(3), pp. 265-279.
- Bruelhart, F., 2014. *Impact de la déshydratation sur la dérive cardiaque lors d'un effort aérobie en course a pied*. Mémoire de master. Université de Fribourg.
- Chamari, K. and Padulo, J., 2015. 'Aerobic' and 'anaerobic' terms used in exercise physiology: a critical terminology reflection. *Sports Medicine Open*, 1, p. 9.
- Watson, N.F., Badr, M.S., Belenky, G., Bliwise, D.L., Buxton, O.M., Buysse, D., Dinges, D.F., Gangwisch, J., Grandner, M.A., Kushida, C., Malhotra, R.K., Martin, J.L., Patel, S.R., Quan, S.F., and Tasali, E., 2015. Recommended amount of sleep for a healthy adult: A joint consensus statement of the American Academy of Sleep Medicine and Sleep Research Society. *Sleep*, 38(6), pp. 843-844.
- Costill, L. D., Wilmore, J. H. and Kenney, W. L., 2009. *Physiologie du sport et de l'exercice*. 4e éd. Bruxelles: De Boeck.
- Coyle, E.F., 1998. Cardiovascular drift during prolonged exercise and the effects of dehydration. *International Journal of Sports Medicine*, 19(Suppl 2), pp. S121-124.
- Coyle, E.F. and González-Alonso, J., 2001. Cardiovascular drift during prolonged exercise: new perspectives. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 29(2), pp. 88-92.
- Dinges, D.F. and Powell, J.W., 1985. Microcomputer analyses of performance on a portable, simple visual RT task during sustained operations. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 17(6), pp.652-655.
- Ekelund, L.G. and Holmgren, A., 1964. Circulatory and respiratory adaptation during long-term, non-steady state exercise, in the sitting position. *Acta Physiologica Scandinavica*, 62, pp. 240-255.
- Ferré, J. and Leroux, P., 2016. *Préparation aux diplômes d'éducateur sportif, tome 1*. 2e éd. Paris : Éditions Amphora.
- Fritzsche, R.G., Switzer, T.W., Hodgkinson, B.J. and Coyle, E.F., 1999. Stroke volume decline during prolonged exercise is influenced by the increase in heart rate. *Journal of Applied Physiology (1985)*, 86(3), pp. 799-805.

González-Alonso, J., Mora-Rodríguez, R., Below, P.R. and Coyle, E.F., 1995. Dehydration reduces cardiac output and increases systemic and cutaneous vascular resistance during exercise. *Journal of Applied Physiology (1985)*, 79(5), pp. 1487-1496.

Ganio, M.S., Wingo, J.E., Carroll, C.E., Thomas, M.K. and Cureton, K.J., 2006. Fluid ingestion attenuates the decline in VO_2peak associated with cardiovascular drift. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(5), pp. 901-909.

Hirshkowitz, M., Whiton, K., Albert, S.M., Alessi, C., Bruni, O., DonCarlos, L., Hazen, N., Herman, J., Adams Hillard, P.J., Katz, E.S., Kheirandish-Goza, L., Neubauer, D.N., O'Donnell, A.E., Ohayon, M., Peever, J., Rawding, R., Sachdeva, R.C., Setters, B. and Vitiello, M.V., 2015. National Sleep Foundation's updated sleep duration recommendations: final report. *Sleep Health*, 1(4), pp.233-243.

Koppold, D.A., Breinlinger, C., Hanslian, E., Kessler, C., Cramer, H., Khokhar, A.R., Peterson, C.M., Tinsley, G., Vernieri, C., Bloomer, R.J., Boschmann, M., Bragazzi, N.L., Brandhorst, S., Gabel, K., Goldhamer, A.C., Grajower, M.M., Harvie, M., Heilbronn, L., Horne, B.D., Karras, S.N., Langhorst, J., Lischka, E., Madeo, F., Mitchell, S.J., Papagiannopoulos-Vatopaidinos, I.E., Papagiannopoulou, M., Pijl, H., Ravussin, E., Ritzmann-Widderich, M., Varady, K., Adamidou, L., Chihaoui, M., de Cabo, R., Hassanein, M., Lessan, N., Longo, V., Manoogian, E.N.C., Mattson, M.P., Muhlestein, J.B., Panda, S., Papadopoulou, S.K., Rodopaios, N.E., Stange, R. and Michalsen, A. 2024. International consensus on fasting terminology. *Cell Metabolism*, 36(8), pp. 1779-1794.

Liu, R., Liu, X., Zee, P.C., Hou, L., Zheng, Z., Wei, Y., and Du, J., 2014. Association between sleep quality and C-reactive protein: Results from National Health and Nutrition Examination Survey, 2005-2008. *Sleep*, 37(2), pp. 256-261.

Maughan, R.J. and Shirreffs, S.M., 2008. Development of individual hydration strategies for athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 18(5), pp. 457-472.

Minton, D. M. and Eberman L. 2009. Best practice for clinical dehydration measurement. *Athletic Therapy Today*, 14(1), pp. 9-11.

Montain, S.J. and Coyle, E.F., 1992. Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *Journal of Applied Physiology (1985)*, 73(4), pp. 1340-1350.

Raymond, J.R. and Yarger, W.E., 1988. Abnormal urine color: differential diagnosis. *Southern Medical Journal*, 81(7), pp. 837-841.

Riché, D., 1998. *Guide nutritionnel des sports d'endurance*. 2e éd. Paris: Vigot.

Rowell, L.B., 1974. Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiological Reviews*, 54(1), pp. 75-159.

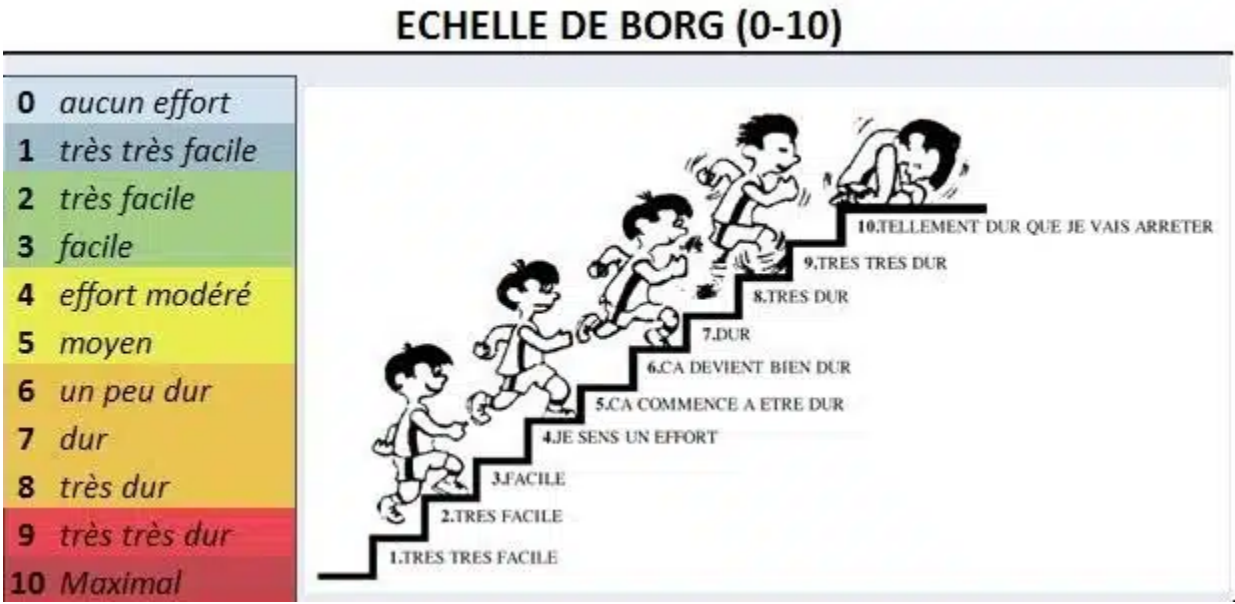
Rowell, L.B., 1986. *Human circulation regulation during physical stress*. New York : Oxford University Press.

Souissi, A., Haddad, M., Dergaa, I., Ben Saad, H. and Chamari, K., 2021. A new perspective on cardiovascular drift during prolonged exercise. *Life Sciences*, 287, pp. 109-120.

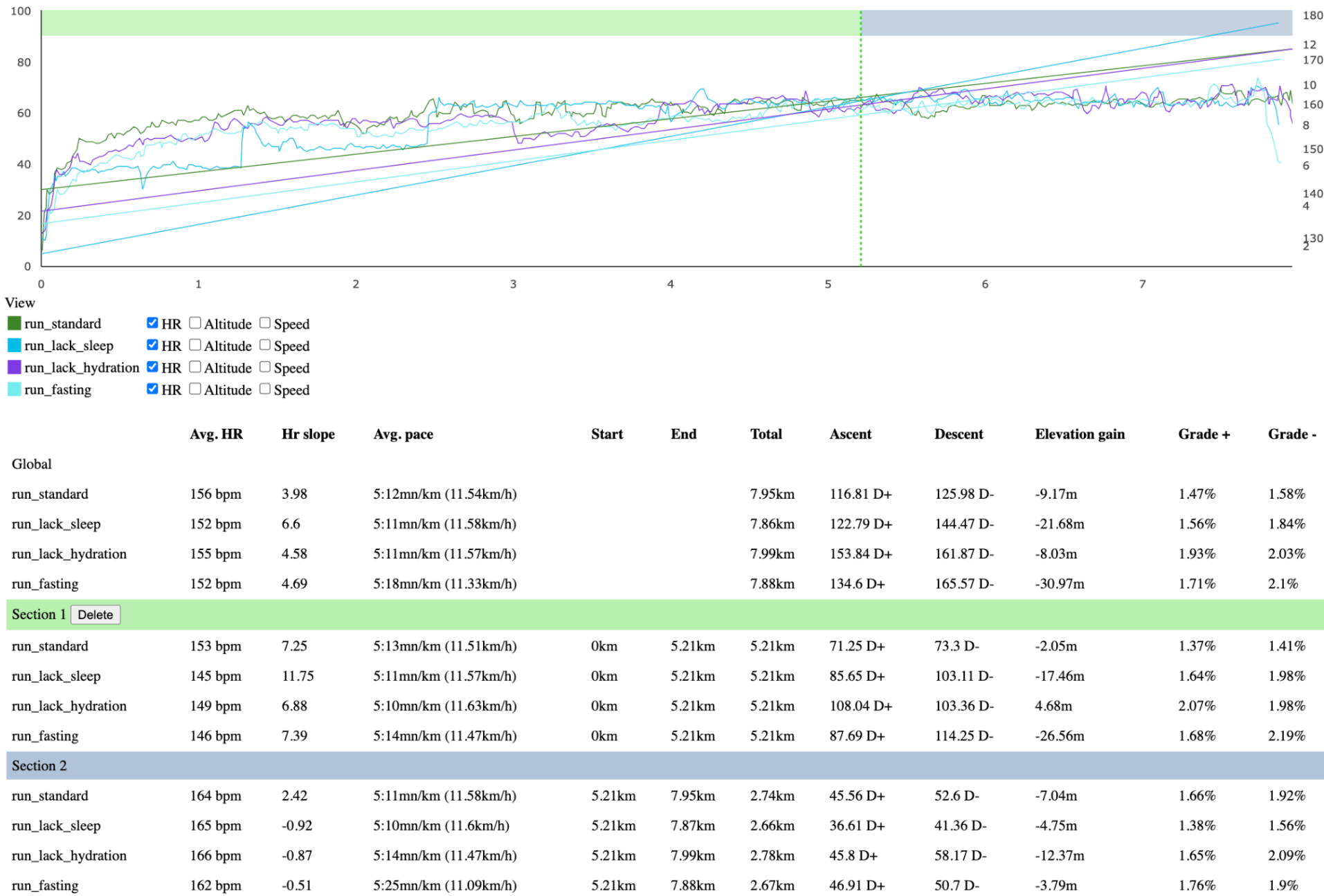
Stone, T., Earley, R.L., Burnash, S.G. and Wingo, J.E., 2021. Menstrual cycle effects on cardiovascular drift and maximal oxygen uptake during exercise heat stress. *European Journal of Applied Physiology*, 121(2), pp. 561-572.

Thoret, E., Andrillon, T., Gauriau, C., Léger, D., and Pressnitzer, D., 2020. Sleep deprivation detected by voice analysis. *Scientific Reports*, 10(1), p. 984.

Zielinski, M.R., McKenna, J.T. and McCarley, R.W., 2016. Functions and mechanisms of sleep. *AIMS Neuroscience*, 3(1), pp. 67-104.

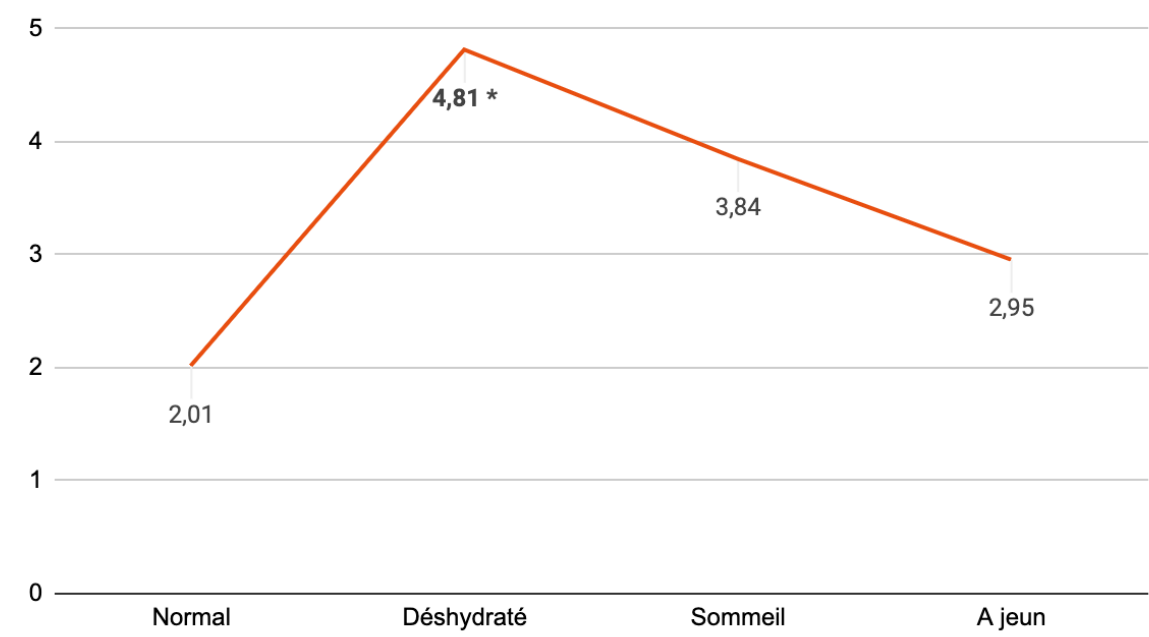


Annexe 1 : L'échelle de Borg (ou mesure de perception de l'effort)



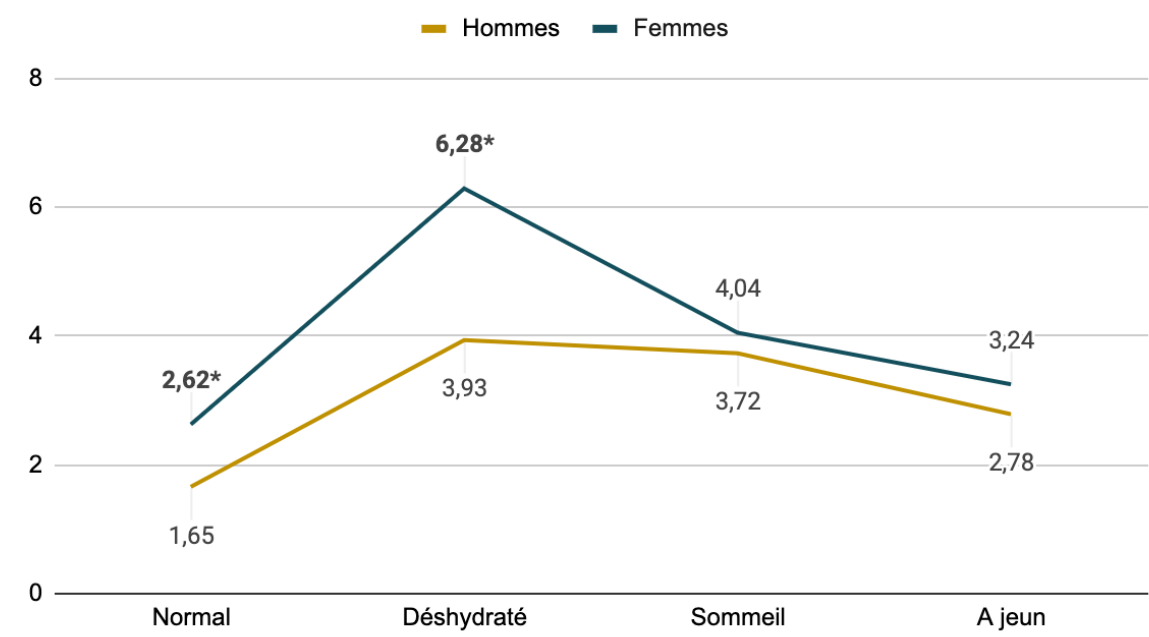
Annexe 2 - Analyse de la dérive cardiaque sur plusieurs séances

Dérive cardiaque



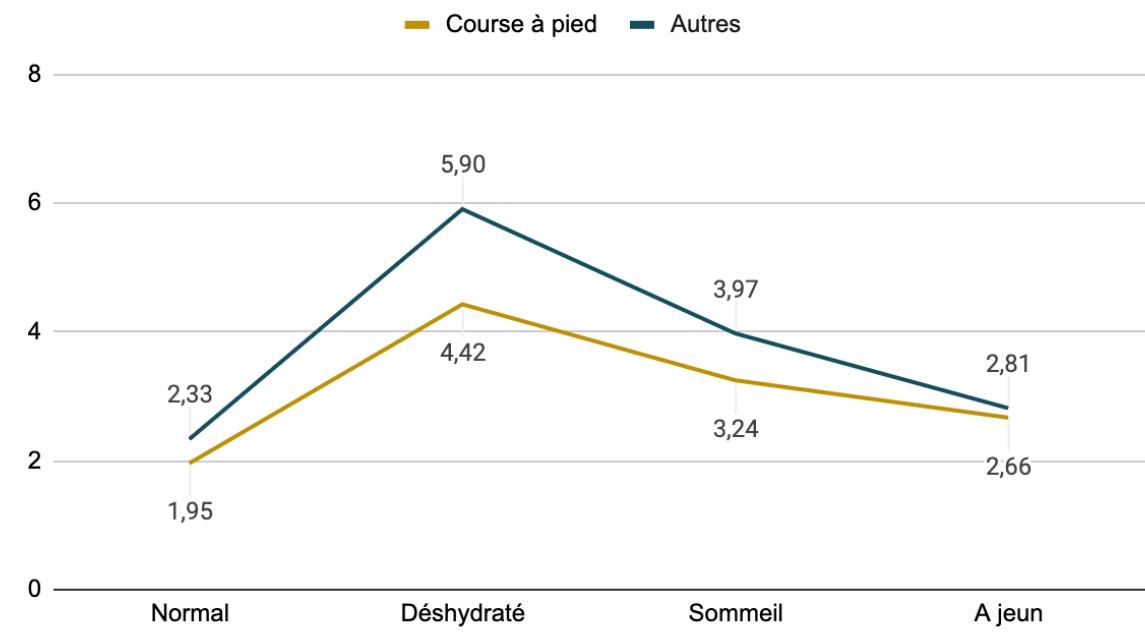
Annexe 3 - Coefficient de dérive cardiaque moyen par état avec tous les sujets

Dérive cardiaque hommes/femmes



Annexe 4 - Coefficient de dérive cardiaque moyen hommes/femmes par état avec tous les sujets

Dérive cardiaque course à pied/autres



Annexe 5 - Coefficient de dérive cardiaque moyen course à pied/autres par état avec tous les sujets



La dérive cardiovasculaire est un phénomène physiologique naturel décrit depuis le début des années 1960 et observable au fil du temps lors d'un effort à intensité constante. Elle se caractérise notamment par une diminution de la pression artérielle et du volume d'éjection systolique (VES) ainsi qu'une augmentation du rythme cardiaque. Divers facteurs, tels qu'une température extérieure élevée ou un taux d'humidité important, influencent cette dérive. Cependant, il a été démontré que la déshydratation endogène induite par l'effort constitue un facteur important dans l'augmentation de cette dérive. De nombreuses études s'attachent à identifier d'autres marqueurs de la dérive cardiovasculaire afin d'approfondir la compréhension de ce phénomène et la majorité de ces travaux se concentre principalement sur son évolution physiologique durant l'exercice. Il paraît toutefois pertinent de s'interroger sur l'influence potentielle de l'état initial des individus effectuant un effort à intensité constante sur la dérive cardiovasculaire. Ce travail a été conçu pour examiner quatre conditions distinctes : absence de modification particulière, déshydratation contrôlée, privation de sommeil contrôlée, et enfin, réalisation de l'effort à jeun. Ainsi, cinq hommes et trois femmes ont réalisé un effort à environ 70% de leur VMA pendant 40 minutes dans chacune des conditions afin de permettre l'observation et la comparaison de l'évolution du rythme cardiaque et de la perception de l'effort. Bien que la perception de l'effort semble similaire dans chaque condition, il a été observé qu'une personne déshydratée avant l'effort présente une augmentation plus rapide de la fréquence cardiaque qu'une personne à jeun. Dans ce cas, l'influence sur la dérive cardiaque s'est révélée minime pour l'ensemble des participants. Toutefois, il apparaît que la privation de sommeil peut également jouer un rôle, entraînant une légère augmentation de la fréquence cardiaque au cours de l'effort, bien que cette augmentation reste inférieure à celle induite par la déshydratation.