

UNIVERSITE DE FRIBOURG, SUISSE

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE MEDECINE

EN COLLABORATION AVEC LA

HAUTE ECOLE FEDERALE DES SPORTS DE MACOLIN

IMPACT DE LA DESHYDRATATION SUR LA DERIVE CARDIAQUE LORS D'UN EFFORT AEROBIE EN COURSE A PIED

Travail final pour l'obtention du Master en
Science du Mouvement et du Sport
Option Enseignement

Conseiller: Taube WOLFGANG

Co-conseiller: Alain ROUVENAZ

Flavie BRUELHART

Massonnens, Juin 2014

Sommaire

Résumé	3
Introduction	4
Situation de départ	4
Problématique et question de recherche	4
1. Cadre théorique	5
1.1. La notion d'entraînement.....	5
1.2. Entraînement en endurance.....	5
1.2.1. Le VO ₂ max	6
1.2.2. La fréquence cardiaque lors d'un effort aérobic	7
1.3. La thermorégulation.....	9
1.3.1. La déshydratation	11
2. Méthodologie.....	12
2.1. Les sujets.....	12
2.2. Les tests	13
2.2.1. Le Test VAMEVAL	13
2.2.2. Test continu à intensité modérée.....	13
2.2.3. Les mesures effectuées	14
2.2.4. Les variables.....	14
2.3. Résultats.....	14
3. Discussion	24
3.1. Discussion des résultats	24
3.2. Limites	26
3.3. Comparaison avec d'autres publications.....	27
Conclusion	29
Bibliographie	30
Remerciements	32
Déclaration personnelle.....	32
Droits d'auteur	32
Annexes.....	33

Résumé

La dérive cardiaque est l'un des six paramètres cardiaques qui nous donne des indications sur l'entraînement en endurance et par conséquent sur le niveau de l'athlète. Elle représente une augmentation progressive de la fréquence cardiaque lors d'un effort à allure constante. Deux éléments peuvent expliquer ce phénomène. Le premier est l'élévation de la température corporelle associée à la déshydratation. Le second est neuro-physiologique, l'organisme se fatigue et on assiste à une diminution de l'efficacité du geste et du cycle diastole-systole. Ce travail se voulait de répondre à l'hypothèse suivante: Quel est l'impact du paramètre de déshydratation sur la dérive cardiaque lors d'un effort aérobie en course à pied par rapport au coût énergétique de la foulée?

19 sujets ont effectué deux exercices continus (20') à intensité modérée (75% de leur VMA) en course à pied sur un tapis roulant dans deux conditions différentes, une fois hydratés normalement, une seconde fois déshydratés. La fréquence cardiaque et la fatigue ressentie étaient les deux principales variables observées. Lors de l'analyse des résultats, un Test-t a été réalisé afin de comparer les valeurs moyennes relevées dans les deux conditions. Nous avons alors constaté une fréquence cardiaque moyenne, ainsi qu'une perception de l'effort plus haute en condition d'hydratation réduite qu'en condition d'hydratation normale.

En conclusion, étant donné que nous observons une dérive cardiaque plus importante en condition d'hydratation réduite qu'en condition d'hydratation normale, nous pouvons dire que l'effet de la déshydratation a une plus forte influence sur la dérive cardiaque que le coût énergétique de la foulée.

Introduction

Chaque sportif, en s'entraînant, poursuit un but précis. Certains veulent rester en forme, d'autres veulent améliorer leurs performances. Pour ce deuxième but, le sportif doit tenir compte de tous les paramètres qui ont une influence sur l'entraînement. Dans les sports d'endurance, un des paramètres important à prendre en considération est l'intensité d'un exercice afin de planifier au mieux ses charges d'entraînement et d'avoir un équilibre optimal entre charge et récupération. L'outil fréquemment utilisé par les sportifs pour mesurer l'intensité d'un exercice en endurance est le cardiofréquencemètre.

Situation de départ

Un cardiofréquencemètre nous donne les valeurs de la fréquence cardiaque (en puls/min) au cours d'un exercice. On dit que la fréquence cardiaque et l'intensité (joules/s.) d'une charge sont liées. La fréquence cardiaque évolue de manière linéaire avec la vitesse (km/h) de course à partir de la deuxième minute d'exercice. (Laporte, 2009, p.29) Dans ce travail, nous allons nous intéresser de plus près à la dérive cardiaque, ainsi qu'à ses causes. La dérive cardiaque représente une augmentation progressive de la fréquence cardiaque lors d'un effort à allure constante. Gindre (1997) a démontré qu'au cours d'un effort de 45 minutes de footing rapide (85% de VMA), les athlètes montraient une dérive cardiaque depuis la première minute d'effort jusqu'à la fin de l'exercice. (cité sur: www.volodalen.com/31articles/articles212.htm)

Laporte (2009) amène deux éléments pour expliquer ce phénomène. Le premier est l'élévation de la température corporelle, associé à la déshydratation. Le second est neuro-physiologique, l'organisme se fatigue et on assiste à une diminution de l'efficacité du geste. (Carré, Laporte, 2009, p.79) Laporte ne précise pas quelle est la proportion d'influence de ces deux éléments.

Problématique et question de recherche

Il est indéniable, la déshydratation a un impact sur la fréquence cardiaque lors d'un effort continu et constant. Au cours de ce travail, 19 sportifs ont participé à deux exercices continus et constants en course à pied dans deux situations différentes, à savoir une fois hydratés normalement et une seconde fois sous-hydratés. Grâce à ces deux tests, nous allons tenter de répondre à la question suivante: Quel est l'impact du paramètre de déshydratation sur la dérive cardiaque lors d'un effort aérobique en course à pied par rapport au coût énergétique de la foulée?

1. Cadre théorique

Ce premier chapitre va nous permettre de mettre en place des notions théoriques importantes qui nous seront utiles afin de bien comprendre et analyser les résultats des tests effectués sur tapis roulant. Dans un premier temps, nous aborderons le thème de l'entraînement et plus spécifiquement de l'entraînement en endurance, ainsi que toutes les notions qui s'y rapportent. Par la suite, nous détaillerons tous les paramètres (hydratation, température, humidité, intensité, ...) qui ont joué un rôle et qui ont pu avoir une influence sur les résultats.

1.1. La notion d'entraînement

«L'entraînement est l'application systématique de stimuli à l'organisme en tenant compte du seuil de tolérance physique et mentale du sportif.» (Van Den Bosch, 2007, p.6) L'entraînement va amener des améliorations sur les performances des athlètes, pour autant que celui-ci soit bien conduit, c'est-à-dire que la charge et la récupération soient dosées judicieusement. (Van Den Bosch, 2007, p.6) Chaque qualité physique de base (endurance, force, vitesse, et mobilité) peut être améliorée par un entraînement spécifique. Nous nous arrêterons uniquement sur l'entraînement en endurance car c'est celui qui sera abordé ce travail.

1.2. Entraînement en endurance

Plusieurs définitions de l'entraînement en endurance sont proposées. Selon Van Den Bosch (2007) «l'endurance est la faculté de l'organisme à prolonger le plus longtemps possible un effort spécifique.» (p.8) Le terme "le plus longtemps possible" pose problème à certains chercheurs. C'est pourquoi Reiss et Prévost (2013) proposent la définition suivante: «L'endurance sportive est la faculté à maintenir l'intensité d'actions musculaires optimales durant un temps défini ou un objectif fixé, exceptionnellement, le temps est indéterminé.» (p.100)

Suite à cela, nous pouvons distinguer deux formes d'endurance, l'endurance aérobie et l'endurance anaérobie. La principale différence entre les deux est le fait que notre corps va utiliser l'oxygène ou non pour transformer l'énergie chimique en énergie mécanique. (Carré, Laporte, 2009, p.17) Nous allons détailler uniquement la filière aérobie car c'est elle qui est utilisée lors des tests sur tapis roulant.

La filière aérobie est utilisée pour ce qu'on appelle l'endurance de moyenne et de longue durée. C'est le système le moins puissant, mais le plus économique. La synthèse de l'ATP se

fait à partir du glucose, des lipides et plus rarement des protéines avec l'action de l'oxygène. (Van Den Bosch, 2007, p.8) La filière aérobie intervient à partir de 2 à 3 minutes d'exercice. Avant cela, pour le démarrage, il s'agit de la filière anaérobie. (Reiss, Prévost, 2013, p.101) Chez tout être humain, il existe une relation directe et proportionnelle entre la quantité d'oxygène utilisée (consommée) et la quantité d'énergie mécanique produite (exprimée en watts). Ainsi, il est donc possible d'estimer une VO_2 (consommation d'oxygène) en fonction du type et de l'intensité de l'activité physique réalisée.

1.2.1. Le VO_2 max

«Le VO_2 max est le débit maximal de production d'énergie par voie oxydative. Il correspond à la quantité maximale d'oxygène qu'un organisme peut utiliser par unité de temps (L/min) au cours d'un exercice intense et/ou de durée prolongée.» (Reiss, Prévost, 2013, p.118) Le VO_2 max est ce qui reflète le mieux le potentiel aérobie d'un athlète, mais finalement nous ne pouvons pas prédire le vainqueur d'un marathon à partir de cette mesure. Les athlètes vont tout de même chercher à augmenter leur VO_2 max avec des entraînements spécifiques. Des femmes, âgées de 18 à 22 ans, moyennement actifs ont une VO_2 max entre 38 et 42 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$, tandis que les hommes seront entre 44 et 50 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$. Après 25 à 30 ans, les valeurs de VO_2 max diminuent de 1% par an toujours pour des sujets inactifs. (Costill et al., 2006, p.121)

Pour déterminer de façon indirecte le VO_2 max, nous pouvons utiliser le test VAMEVAL (Carzola, 1992). Lors de ce test, l'athlète va courir le plus longtemps possible en augmentant sa vitesse de 0.5 km/h chaque minute. A un moment donné, notre corps atteindra sa limite, il ne pourra plus utiliser davantage d'oxygène, ceci sera notre VO_2 max, ce qui détermine également la vitesse maximale aérobie (VMA). (Reiss, Prévost, 2013, p.120) Cette vitesse maximale aérobie sera utilisée pour déterminer la vitesse de course de chaque sujet lors des tests sur tapis roulant. Le tableau ci-après nous donne des indications sur ce que représente un tel résultat.

Tab. 1: Valeurs du VO_2 max en fonction du niveau de condition physique (Reiss, Prévost, 2013, p.122)

Populations	VO_2 max (ml/min/kg)	VAM équivalente (km/h)
Adultes peu ou moyennement actifs	30 à 45	8.8 à 12.8
Adultes en bonne condition physique	45 à 55	12.8 à 15.8
Adultes en excellente condition physique	55 à 65	15.8 à 18.5
Athlètes d'élites en sports aérobies	65 à 90	> 18.5

1.2.2. La fréquence cardiaque lors d'un effort aérobie

La fréquence cardiaque (FC) est vraisemblablement un des éléments clés lorsque l'on parle d'endurance. Elle varie selon les individus, selon les âges, selon la composition corporelle, selon les intensités d'exercices, et selon la présence de maladies cardiaques. De plus, certains facteurs influencent la fréquence cardiaque, notamment les médicaments, le volume sanguin, la température et l'humidité.

Il faut être relativement prudent lorsque l'on veut tirer des conclusions à partir de celle-ci. Quoi qu'il en soit, la fréquence cardiaque et l'intensité d'un exercice sont liées mathématiquement. La fréquence cardiaque augmente de manière linéaire en fonction de la puissance de l'exercice. Lorsqu'on arrive au maximum, on voit alors apparaître un point d'inflexion, qui s'étale entre 60 et 90% du VO_2 max selon le niveau des athlètes. Il s'agit de la zone de transition entre aérobie et anaérobie. C'est un élément important dans le suivi de l'entraînement. (<http://www.volodalen.com/13physiologie/fc.htm>)

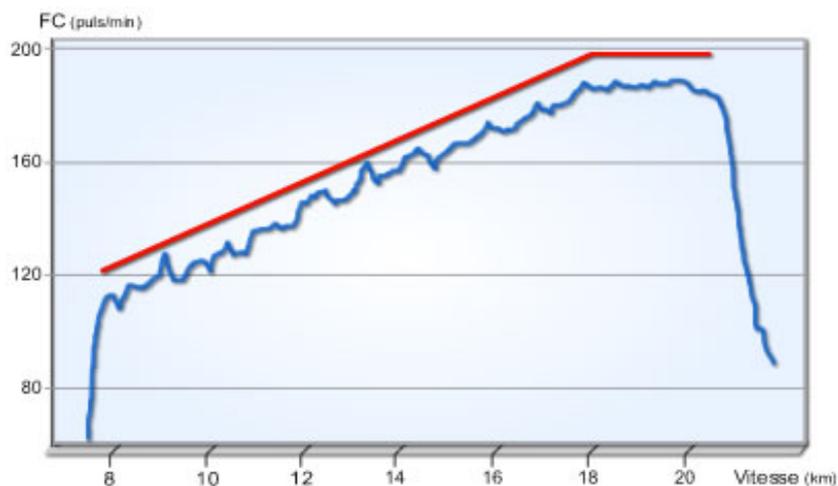


Fig. 1: Représentation de l'évolution de la fréquence cardiaque avec la vitesse de course au cours d'un test progressif aérobie. (<http://www.volodalen.com/13physiologie/fc.htm>)

Six paramètres cardiaques peuvent nous donner des indications sur l'entraînement en endurance et par conséquent sur le niveau de l'athlète. Il s'agit de la transition entre l'état de repos et l'état d'activité, le niveau atteint à chaque effort, la dérive cardiaque, la récupération, la fréquence cardiaque maximale, et la fréquence cardiaque de repos. Comme on peut le voir sur l'image ci-après (fig.2), la fréquence cardiaque lors d'un même effort et à la même intensité, est plus basse après entraînement.

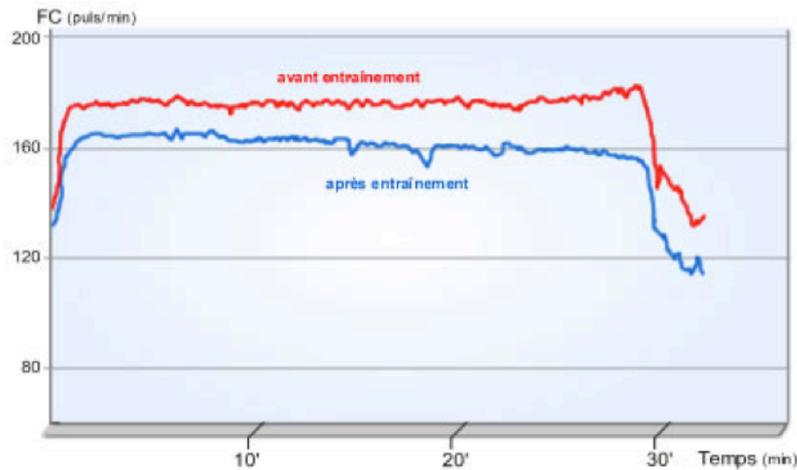


Fig. 1: Evolution de la fréquence cardiaque au cours d'un footing réalisé à la même vitesse avant et après une période d'entraînement (<http://www.volodalen.com/13physiologie/fc2.htm>)

L'entraînement a donc un impact sur les différents paramètres cardiaques. La fréquence cardiaque (FC) au repos aura tendance à diminuer. D'une manière générale, la FC de repos se situe entre 60 à 80 bpm, mais elle peut également se situer autour des 100 bpm. (Costill et al., 2006, p.192) Les sportifs de haut niveau ont une fréquence cardiaque de repos basse, souvent inférieure à 40 bpm. C'est une adaptation du système cardiovasculaire à l'entraînement, cependant cela ne prédit pas forcément d'excellents résultats à l'effort. (Gacon, p.26) La fréquence cardiaque maximale diminue avec l'âge et est en général légèrement moins élevée chez les sportifs d'élite. Avec l'entraînement, la fréquence cardiaque maximale aura également une très légère tendance à diminuer. Là encore, connaître sa fréquence cardiaque maximale ne nous permet pas de prédire des résultats futurs. Ce qui est nettement plus intéressant c'est l'observation de la fréquence cardiaque lors de la récupération. Plus une personne sera entraînée, plus vite sa FC redescendra pour revenir proche de l'état de départ une fois l'effort terminé. (Reiss, Prévost, 2013, p.153) En principe, lors d'un effort continu à la même intensité, nous devrions observer une stabilité de la fréquence cardiaque, qu'on appelle également le "steady-state", ce qui prouve une bonne adaptation de l'organisme à l'effort. Cependant, il a été démontré qu'au cours d'un effort de 45 minutes réalisées en footing rapide, les athlètes montraient une dérive cardiaque dès la première minute d'effort. (Gindre, 1997, cité dans l'article physiologique: <http://www.volodalen.com/13physiologie/fc.htm>) «La dérive cardiaque représente le fait qu'à vitesse constante durant une longue période, la FC augmente et peut atteindre la FC max.» (Reiss, Prévost, 2013, p.153). Selon Laporte (2006), dans certaines conditions, la dérive cardiaque peut dépasser 15 battements par minutes par rapport au début de l'exercice. Il donne deux explications à ce phénomène. La première est le fait que la dérive

cardiaque est proportionnelle au degré de déshydratation du sujet, ainsi qu'aux conséquences de la thermorégulation. La deuxième explication est physiologique. L'organisme se fatigue, le coût énergétique de l'effort augmente. (p.5) Nous reviendrons sur le principe de la thermorégulation dans le point 1.3.

"Le terme fatigue est généralement utilisé lorsque la performance musculaire diminue et que la sensation de lassitude ou d'épuisement augmente." (Costill, 2009, p.112) Nous pouvons nommer deux types de fatigue. La fatigue concernant les muscles, que l'on nomme la fatigue périphérique et la fatigue centrale qui s'applique au système nerveux. Les deux interagissent pour expliquer tous les aspects de la fatigue ressentie. Certains facteurs influencent la fatigue, notamment le type et l'intensité de l'exercice, le type de fibres recrutées, le niveau d'entraînement du sujet, ainsi que son alimentation par exemple. (Costill, 2009, p.113) A cela, il faut penser que le coût énergétique d'une activité varie selon le type et l'intensité de l'exercice. Le coût est proportionnel à la quantité d'oxygène consommée par unité de temps. En course à pied, le coût énergétique moyen est estimé à 3,5 ml/min/kg d'oxygène par km/h. Par exemple, si un athlète court à 10km/h, son coût énergétique est de 35ml/kg/min. Il peut être influencé par des facteurs mécaniques internes (qualité de la foulée) et externes (type de sol). (Carré, Laporte, 2009, p.19)

1.3. La thermorégulation

L'homme maintient une température corporelle constante. La température centrale peut se situer entre 36.1 et 37.8 selon l'exercice musculaire, la maladie ou les conditions environnementales. Pour que la température reste constante, il faut un équilibre entre les gains de chaleur (environnement, métabolisme) et les pertes liées aux échanges avec l'ambiance. (Costill et al., 2009, p. 262) Quatre mécanismes physiques sont à l'origine de ces échanges. Il s'agit de la conduction, de la convection, de la radiation et de l'évaporation. (Costill et al., 2009, p.263)

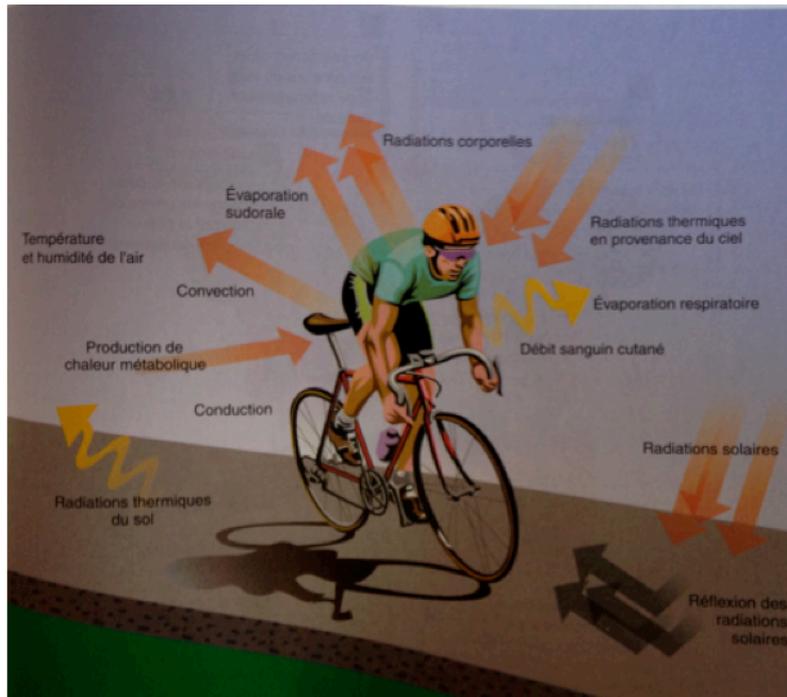


Fig. 3: Interaction complexes des mécanismes de transfert de chaleur entre la peau et l'ambiance (Costill et al., 2009, p.265)

Nous allons nous intéresser uniquement au mécanisme de l'évaporation, car c'est celui qui intervient lors d'exercices physiques. A la surface de la peau, la sueur s'évapore sous l'effet de la chaleur cutanée. Il s'agit de pertes inconscientes. (Costill et al., 2009, p.264) Lorsque les capteurs détectent une température corporelle trop haute, l'information est envoyée à l'hypothalamus qui ordonne des mécanismes de protection. Les deux principaux sont le déclenchement de la sudation et un accroissement du débit sanguin cutané qui permet de dissiper la chaleur du corps vers le milieu environnant. Il est important de souligner le fait que c'est l'évaporation qui est efficace et non le ruissellement de l'eau sur la peau. La sudation permet d'éliminer une grande partie de cette chaleur, mais elle peut être perturbée par la température, par l'humidité, et par un rayonnement trop important de chaleur par le sol. (Riché, 1998, p.77) Par exemple, plus le degré d'hygrométrie d'une salle de test est élevé, plus l'évaporation sudorale est limitée. On dit que lorsque le degré d'humidité relative se situe en dessous de 35%, l'air est sec. Entre 35 et 65%, l'air est moyennement sec, et au-dessus de 65% l'air est humide. Si l'on effectue un long exercice dans des conditions climatiques très humides, l'organisme, à un moment donné, n'est plus en mesure d'évacuer l'excès de chaleur. Cela peut devenir dangereux pour la santé. Heureusement, avec l'entraînement, le corps humain développe des adaptations physiologiques. (Costill et al., 2009, p.264) En effet, «lors d'un exercice prolongé ou réalisé à la chaleur, l'élimination de la chaleur par voie sudorale s'effectue au détriment du volume plasmatique qui diminue. La diminution du volume plasmatique associée à la redistribution de la masse sanguine vers la peau réduit le retour veineux et donc le volume de remplissage ventriculaire. En

conséquence, le volume d'éjection systolique diminue également. Pour maintenir le débit cardiaque nécessaire à la poursuite de l'effort, le cœur doit compenser la réduction du volume d'éjection systolique par une accélération de la fréquence cardiaque. C'est ce qu'on appelle la dérive cardiovasculaire.» (Costill et al., 2006, p.198) Nous constatons également ce principe en cas de déshydratation.

Avec le principe de la thermorégulation, nous comprenons que l'eau éliminée doit être remplacée. Rappelons que l'eau est primordiale pour notre corps. Elle représente environ 70% du poids du corps pour un individu de corpulence moyenne et intervient dans la structure des tissus pour permettre la présence d'un environnement "chimique" optimal pour le déroulement de la plupart des processus physiologiques. L'être humain perd de l'eau par les urines, les selles, la respiration et la sudation. Au repos, nous n'avons pas conscience de notre sudation, car l'eau est directement évaporée. En cas de fortes activités physiques ou d'exposition à la chaleur, le corps humain va perdre plus d'eau. (Riché, 1998, p.72) Si un «déséquilibre entre les mouvements liquidiens se crée, c'est-à-dire que les pertes d'eau ne sont pas compensées par les entrées d'eau, on parle alors de déshydratation.» (McArdle, 2004, p.235)

1.3.1. La déshydratation

En cas de déshydratation, le corps aurait deux options. Soit il se déshydrate encore plus pour maintenir une température corporelle optimale, soit il tolère une "surchauffe" de l'organisme pour conserver un volume plasmatique minimal. (Riché, 1998, p.79) Il va choisir la seconde option. Il est dit qu'une légère déshydratation (perte de 1 à 2 % de la masse corporelle) nuit aux performances cognitive et musculaire. (Ritz et al, 2007, p.740) Lorsqu'on sue, on élimine d'abord l'eau plasmatique, cela entraîne une irrigation insuffisante au niveau des muscles et un apport sanguin incorrect au niveau de la peau. Le rythme cardiaque en est altéré car il va augmenter les résistances vasculaires afin de maintenir une tension artérielle normale. (Riché, 1998, p.74) Nous comprenons alors que la déshydratation a un impact sur les capacités physiques. De plus, le processus de refroidissement ne peut pas se faire correctement, car les compartiments intra et extracellulaires sont affectés par le déficit hydrique, et selon son niveau, cela empêche toute perte de chaleur. En résumé, une déshydratation entraîne une augmentation de la fréquence cardiaque, la perception de l'effort, la température centrale et nous ressentirons plus tôt une sensation de fatigue que dans des conditions d'hydratation normale. (McArdle, 2004, p.235)

Malheureusement, la déshydratation est difficile à évaluer, et il n'existe aucune méthode valide simple pour l'évaluer. Selon l'étude de Cheuvront et al (2013), l'osmolarité

plasmatique est la clé pour dépister une déshydratation, mais cela nécessite une collecte de sang. (p.455) De plus, il faut préciser que l'osmolarité plasmatique est si bien défendue que, quand elle augmente, une déshydratation importante a probablement déjà eu lieu. (Ritz et al, 2007, p.741) L'urine est plus facile à collecter que le sang, mais certains indicateurs, tels que l'osmolarité ou la densité, restent à être validées pour les seuils de diagnostic dans certaines populations (enfants, personnes âgées). (Ritz et al, 2007, p.741) Selon Ritz et al (2007), l'eau du corps, soit en valeur absolue ou relative au poids corporel, devrait finalement être l'indicateur de choix. (p.741). Nous comprenons alors qu'il nous est impossible de certifier une déshydratation chez nos participants, nous n'avons ni les moyens matériels, ni les connaissances nécessaires pour recueillir et analyser de l'urine, du sang ou de la sueur. Nous avons donc dû trouver une formule simplifiée, accessible selon notre degré de connaissance.

Plusieurs sources littéraires (Costill, McArdle, Reiss, Riché) mentionnent le fait qu'une perte d'eau égale à 1% de la masse corporelle a un impact sur les performances sportives. Nous avons donc demandé à nos participants, pour le test en condition d'hydratation réduite, de diminuer leur consommation journalière d'eau de 1% de leur poids du corps durant les trois jours précédents le test sur tapis roulant. Par exemple, un homme de 80 kg devait diminuer de 0.8 litres sa consommation d'eau sur trois jours. Nous reviendrons sur le choix de cette formule dans le point 3 "Discussion" de ce travail.

2. Méthodologie

2.1. Les sujets

19 participants, 12 hommes et 7 femmes, ont participé à l'étude. Ils avaient entre 18 et 27 ans, tous étaient en bonne santé, pratiquant divers sports, à des niveaux différents. Tous les sujets ont participé à trois tests, à savoir le test VAMEVAL afin de déterminer leur niveau d'endurance et deux tests continus de course à pied à intensité modérée dans deux conditions spécifiques (hydratés et sous-hydratés).

Ces dix-neuf participants ont été divisés en deux groupes de manière aléatoire. Le groupe A a réalisé les tests selon l'ordre suivant: d'abord le test en condition d'hydratation normale et ensuite le test en condition d'hydratation réduite, le groupe B a réalisé les tests dans l'ordre inverse.

2.2. Les tests

2.2.1. Le Test VAMEVAL

Ce test fut mis sur pied par Cazorla en 1992 et consiste à déterminer la vitesse maximale aérobie (VMA) de chaque participant. Sur une piste de 400 mètres, nous avons placé 20 repères espacés de 20 mètres. La vitesse de course était donnée par un signal sonore. Chaque participant devait adapter sa vitesse de course afin qu'à chaque signal sonore ce dernier se trouve à la hauteur d'un repère. La vitesse de départ était de 8.5 km/h et augmentait de 0.5 km/h chaque minute. Dès qu'un participant choisissait de s'arrêter ou était en retard trois fois de suite aux repères le test s'arrêtait pour lui. Sa VMA a été déterminée d'après le palier qu'il a entièrement terminé. Une fois la VMA déterminée, nous pouvions nous en servir pour réaliser les tests sur tapis roulant.

2.2.2. Test continu à intensité modérée

Ce test consiste à courir sur un tapis roulant pendant 20 minutes à 75% de leur VMA une fois en condition d'hydratation normale et une seconde fois en condition de sous - hydratation. Pour ces tests, les participants ont dû évaluer leur consommation moyenne d'eau par jour. Ensuite, durant les trois jours qui ont précédé le test, ils devaient soit boire plus ou moins la même quantité, soit diminuer leur consommation jusqu'à atteindre une perte de 1% de leur poids du corps. Pour ce faire, ils ont dû remplir un protocole hydrique.

Nous voyons dans le tableau 2 ci-dessous que 75% de la VMA représente une zone d'intensité qui correspond à de l'endurance active selon la classification de Fabien Carassou.

Tab. 2: Allures de course selon la classification de Fabien Carassou (http://www.fc-coaching.fr/allures_course_a_pied.pdf)

Zone d'entraînement	Intensité en % de la VMA	Intensité en % de FC max	Effet physiologique	Temps théorique possible de maintien dans la zone
Endurance fondamentale	50 à 70% de VMA	65 à 80% de Fcmax	Permettre l'adaptation de l'organisme aux efforts de longue durée	Plusieurs heures
Endurance active	71 à 83% de VMA	80 à 90% de FCmax	Développer de la capacité à maintenir des efforts	1 – 2 heures
Seuil	84 à 88% de VMA	90 à 95% de FCmax	Habituer son organisme à courir en ayant une production plus importante d'acide lactique.	30min à 1h
Vitesse maximale aérobie (VMA)	89 à 120% de VMA	Supérieure à 95% de FCmax	Augmenter la capacité maximale des muscles à utiliser l'oxygène inspiré	Quelques minutes (variable en fonction de la vitesse)

2.2.3. Les mesures effectuées

Lors du test VAMEVAL, les mesures suivantes ont été effectuées:

- Rythme cardiaque, avec un cardiofréquencemètre.
- Fatigue, perception de chaque individu avec l'échelle de Borg.
- Poids, avec une balance.

Lors des tests continus à intensité modérée, les mesures suivantes ont été effectuées:

- Rythme cardiaque, avec un cardiofréquencemètre.
- Température et humidité de la salle de test, avec un thermomètre et un hygromètre
- Poids avant et après, avec une balance
- Tension artérielle avant et après, avec un tensiomètre
- Température corporelle avant et après, avec un thermomètre
- Lactatémie avant et après, avec le Lactate Pro
- Fatigue ressentie après, avec l'échelle de Borg

2.2.4. Les variables

Nous avons deux types de variables, les variables dépendantes et les variables indépendantes. Les variables dépendantes sont liées au paramètre d'hydratation, c'est-à-dire que lorsque l'on modifie ce paramètre, les valeurs des variables peuvent également se modifier. En l'occurrence, il s'agit de la fréquence cardiaque, et de la fatigue ressentie (échelle de Borg).

Au contraire, les variables indépendantes ne devraient pas subir de modification en fonction du paramètre d'hydratation. Il s'agit donc de la température et humidité de la salle de test et de la VMA. La température corporelle, le poids, la tension artérielle, le taux de lactate dans le sang sont des variables de contrôle. Elles peuvent subir des modifications en fonction du niveau d'hydratation des sujets, mais ce ne sont pas elles qui nous intéressent en premier lieu dans ce travail.

2.3. Résultats

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés aux variables dépendantes. Nous les avons classées dans le tableau 3 ci-dessous. Les colonnes 4 et 5 représentent la moyenne de fréquence cardiaque en étant hydraté (MoyFCH) et en étant sous-hydraté (MoyFCS). Les colonnes 6 et 7 montrent la fréquence cardiaque maximale hydraté (MaxFCH) et sous-hydraté (MaxFCS). Les colonnes 8 et 9 montrent la fréquence cardiaque minimale hydraté (MinFCH) et sous-hydraté (MinFCS). Et finalement, les deux dernières colonnes montrent la perception de l'effort sur l'échelle de Borg en étant hydraté (BorgH) et sous-hydraté (BorgS).

Tab. 3: Variables dépendantes récoltées lors des deux tests de 20' sur tapis roulant

Sujets	Groupe	VMA	MoyFCH	MoyFCS	MaxFCH	MaxFCS	MinFCH	MinFCS	BorgH	BorgS
1	B	16	142.9	148.9	149	157	94	99	12	14
2	B	15.5	168	176.9	176	181	100	123	11	14
3	B	18	143.6	153.1	156	162	87	92	13	14
4	B	13	167.8	176	175	184	117	129	12	17
5	B	14	168.6	178.4	180	192	100	107	15	19
6	B	16	153.7	165.3	165	175	105	103	12	14
7	A	14.5	153.5	157.5	160	169	98	99	12	12
8	A	18.5	155.3	158.4	164	168	86	93	9	14
9	B	15.5	168.7	172.4	184	180	83	99	12	15
10	B	14	183.1	185.7	190	194	133	141	13	14
11	A	17.5	150.7	149.3	157	158	90	83	14	14
12	A	13.5	171.7	171.7	185	183	93	124	13	16
13	A	16	167.4	164.8	177	177	84	93	11	14
14	A	18	173.4	170.3	182	180	114	112	12	13
15	A	19	166.9	165.9	177	177	77	103	15	13
16	A	13.5	158.6	157.7	166	163	113	103	13	15
17	B	17	164.1	165.4	170	171	106	109	14	17
18	A	14	196.1	194.2	208	205	135	119	16	14
19	A	12	154.4	147.4	164	157	95	96	11	14

Afin de faciliter la lecture du tableau 3, nous l'avons réalisé sous forme de graphique.

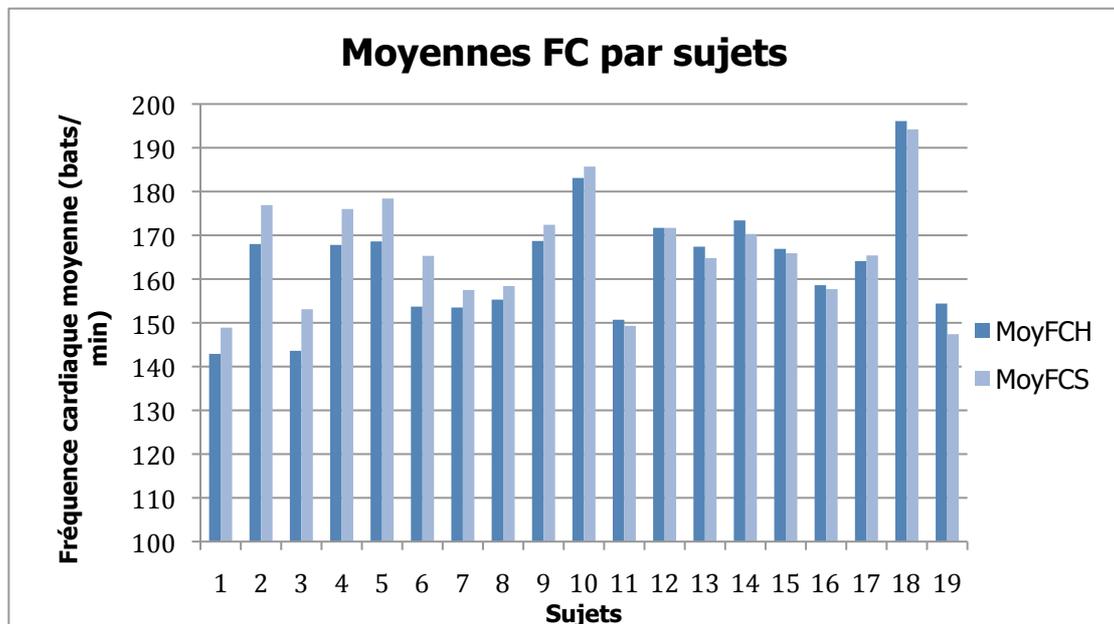


Fig. 2: Fréquence cardiaque moyenne représentée pour chaque sujet dans les deux conditions.

Nous constatons, à la lecture du graphique 1, que les sujets 1 à 10, ainsi que le sujet 17 ont des moyennes de fréquences cardiaques plus hautes en état de déshydratation. Le sujet 12 a deux fois la même moyenne, alors que tous les autres sujets (11, 13, 14, 15, 16, 18, 19) ont des moyennes de FC plus hautes lorsqu'ils sont hydratés normalement. Nous voyons

toutefois que, pour ces derniers sujets, les différences sont légères (entre 0.9 et 7 bat/min), tandis que les différences pour les sujets 1 à 10 sont nettement plus importantes (entre 2.6 et 11.6 bat/min).

Pour chaque sujet, nous avons également réalisé un graphique qui représente sa fréquence cardiaque dans les deux conditions. Voici trois exemples : le sujet 6 où l'on voit très bien que sa fréquence cardiaque est plus haute lorsqu'il est déshydraté (graphique 2), le sujet 15 où les deux courbes sont quasi similaires (graphique 3) et le sujet 19 qui montre une fréquence cardiaque plus haute lorsqu'il est hydraté (graphique 4). Nous verrons plus tard que, malgré le fait de ne pas avoir obtenu des résultats similaires pour tous les sujets, il nous sera possible d'arriver à un résultat général grâce à un test statistique.

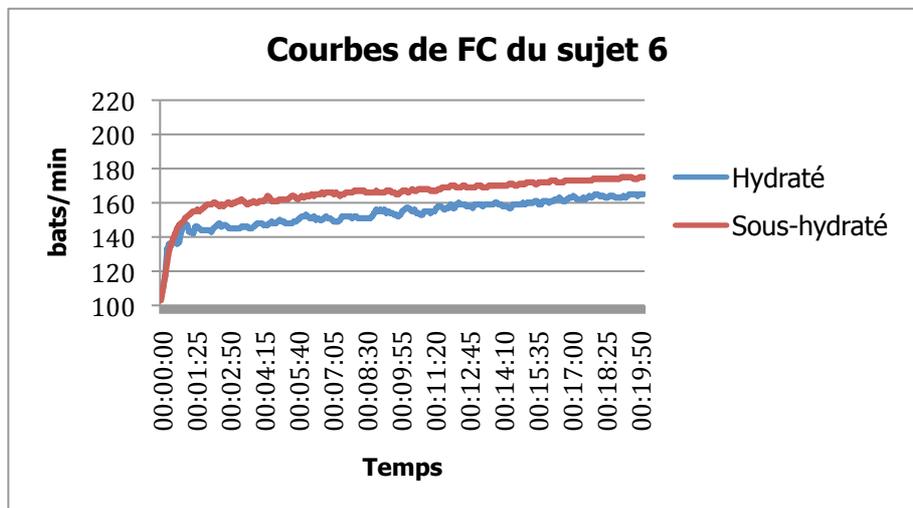


Fig. 3: Représentation des courbes de fréquences cardiaques du sujet 6 dans les deux conditions

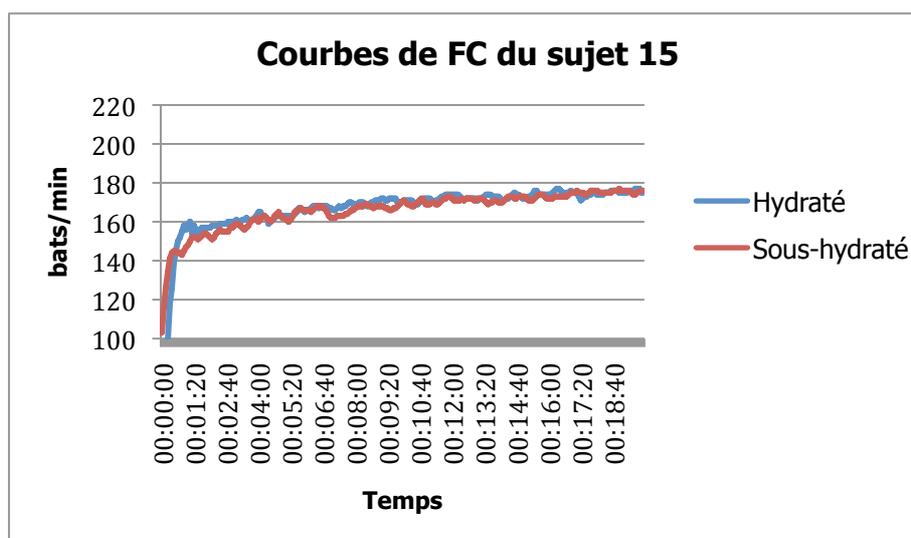


Fig. 4: Représentation des courbes de fréquences cardiaques du sujet 15 dans les deux conditions

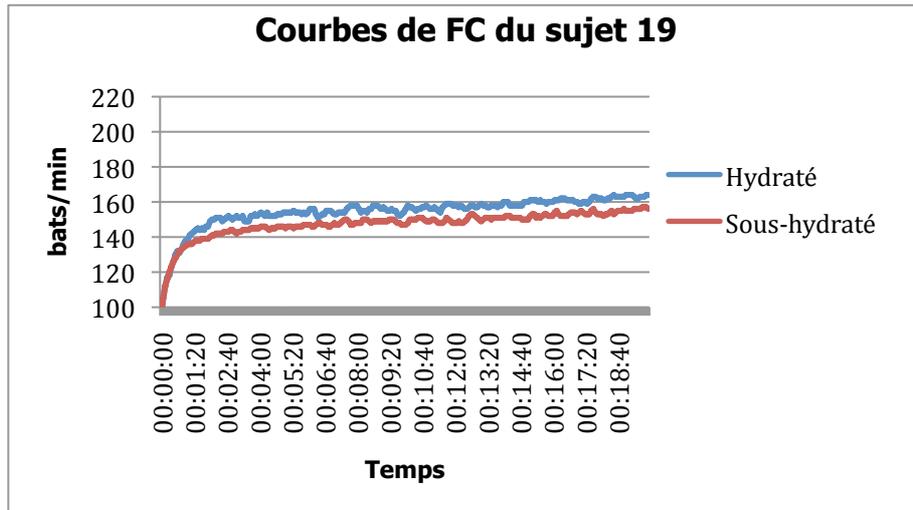


Fig. 5: Représentation des courbes de fréquences cardiaques du sujet 19 dans les deux conditions

Un point important à mettre en évidence est que tous les sujets du groupe B, ont des résultats positifs (graphique 5). Nous reviendrons sur les différentes hypothèses qui peuvent expliquer ces résultats dans la partie discussion de ce travail. Nous rappelons que les deux groupes, A et B, ont été faits de manière aléatoire, de façon à avoir plus ou moins le même nombre d'hommes et de femmes dans chacun, ainsi que des niveaux différents en endurance. La différence entre les deux groupes était l'ordre des tests, le groupe A a d'abord réalisé le test en condition d'hydratation normale et ensuite le test en condition de sous-hydratation, tandis que le groupe B a fait l'inverse.

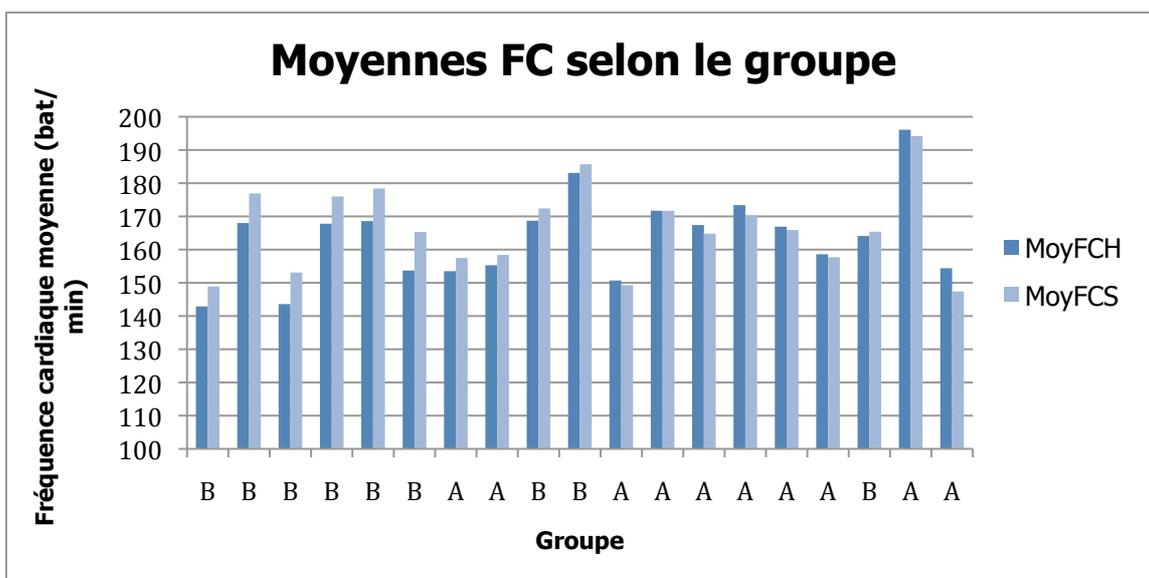


Fig. 6: Fréquence cardiaque moyenne dans les deux conditions représentée selon le groupe

Nous avons vu dans la partie théorique que la température et l'hygrométrie peuvent avoir un impact sur le système de thermorégulation de l'organisme, et par conséquent augmenter la déshydratation des sujets. Nous allons donc pratiquer un Test-t avec SPSS, afin de nous assurer que les conditions de tests étaient similaires pour tous les participants.

Tab. 4: Résultats statistiques pour échantillons appariés.

Statistiques pour échantillons appariés

		Moyenne	N	Ecart-type	Erreur standard moyenne
Paire 1	MoyhumH	35,6048	19	4,5897	1,0530
	MoyhumS	34,2777	19	3,2374	0,7427
Paire 2	Moytemp salle de testH	21,7255	19	0,4060	0,0931
	Moytemp salle de testS	21,7150	19	0,3354	0,0770

Nous voyons dans le tableau 4 ci-dessus que les moyennes d'humidité et de température de la salle de test en condition d'hydratation et de sous-hydratation sont très proches. Le tableau 5 représente le résultat du Test-t, qui va nous permettre de dire si ces moyennes sont significatives ou non. Nous devrions obtenir un résultat non significatif afin de pouvoir dire que les conditions étaient les mêmes pour tous.

Tab. 5: Résultats du Test-t pour les variables humidité et température de la salle de test

Test échantillons appariés

	Différences appariées					t	ddl	Sig. bilatérale
	Moy.	Ecart-type	Erreur standard moyenne	Intervalle de confiance 95% de la différence				
				Inf.	Sup.			
Paire 1 MoyHumH - MoyhumS	1,3272	5,9733	1,3704	-1,5519	4,2062	0,968	18	0,346
Paire 2 Moytemp Salle de testH - Moytemp Salle de testS	0,0105	0,4045	0,0928	-0,1846	0,2055	0,113	18	0,911

Les colonnes qui nous sont utiles sont les trois dernières. La statistique t est calculée en divisant la différence de moyenne par l'erreur standard. Le degré de liberté (ddl) est la taille d'échantillon moins un lorsque le même échantillon est utilisé pour les deux mesures (ici: $19 - 1 = 18$). Les colonnes t et ddl permettent de calculer la valeur de p ou Sig (= signification). Si la signification (bilatérale) est supérieure à 0.05 ($p > 0.05$), cela signifie que

l'hypothèse est nulle, et donc qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes. Si la signification (bilatérale) est inférieure à 0.05 ($p < 0.05$), cela signifie que l'hypothèse nulle est rejetée, et donc qu'il y a une différence significative entre les deux groupes.

Nous constatons que dans les deux cas, il n'y a pas de différence significative entre les valeurs ($p > 0.05$). Nous pouvons donc dire que les conditions étaient les mêmes pour tous les participants.

Maintenant que nous avons confirmé que les conditions étaient similaires, nous pouvons comparer les moyennes de fréquences cardiaques, afin de confirmer ou de rejeter l'hypothèse nulle suivante: Mesure hydratée = Mesure déshydratée. L'hypothèse alternative serait la suivante: Mesure hydratée < Mesure déshydratée. Nous allons à nouveau utiliser un Test-t car tous nos participants ont participé aux deux tests, et que nos variables dépendantes sont quantitatives.

Nous rappelons que nos variables dépendantes sont les suivantes: la moyenne de fréquence cardiaque en état d'hydratation normale (MoyFCH), la moyenne de fréquence cardiaque en état de sous-hydratation (MoyFCS), la perception de l'effort en état d'hydratation normale (BorgH), la perception de l'effort en état de sous-hydratation (BorgS), la fréquence cardiaque maximale dans les deux conditions (MaxFCH et MaxFCS), et finalement la fréquence cardiaque minimale dans les deux conditions (MinFCH et min FCS).

Dans le tableau 6, nous voyons un résumé des statistiques descriptives des mesures. Nous avons la moyenne, le nombre de participants (N), l'écart-type et l'erreur standard moyenne entre le test en état d'hydratation normale et le test en état de sous-hydratation.

Tab. 6: Tableau de moyennes qui décrit nos groupes

Statistiques pour échantillons appariés

		Moyenne	N	Ecart-type	Erreur standard moyenne
Paire 1	MoyFCH	163,61	19	13,09	3,00
	MoyFCS	166,28	19	12,76	2,93
Paire 2	BorgH	12,63	19	1,67	0,38
	BorgS	14,58	19	1,64	0,38
Paire 3	MaxFCH	172,89	19	14,00	3,21
	MaxFCS	175,42	19	13,20	3,03
Paire 4	MinFCH	100,53	19	16,12	3,70
	MinFCS	106,68	19	14,74	3,38

Nous voyons, par ce tableau, que pour chacune des variables, les valeurs sont plus hautes en état de sous-hydratation qu'en état d'hydratation normale.

Le tableau 7 indique les résultats du test t. Cela va nous indiquer si les différences entre les valeurs de fréquence cardiaque en état d'hydratation normale et en état de sous-hydratation sont suffisamment importantes pour ne pas être dues au hasard. Si ce n'est pas dû au hasard, cela confirmerait l'hypothèse que la dérive cardiaque est plus importante lorsque l'on est sous-hydraté.

Tab. 7: Résultats du Test T

Test échantillons appariés

	Différences appariées					t	ddl	Sig. bilatérale
	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne	Intervalle de confiance 95% de la différence				
				Inférieure	Supérieure			
Paire 1 MoyFCH - MoyFCS	-2,6737	5,2067	1,1945	-5,1832	-0,1641	-2,238	18	,038
Paire 2 BorgH - BorgS	-1,947	1,985	0,455	-2,904	-,990	-4,276	18	,000
Paire 3 MaxFCH - MaxFCS	-2,526	5,450	1,250	-5,153	,101	-2,020	18	,058
Paire 4 MinFCH - MinFCS	-6,158	11,932	2,737	-11,909	-,407	-2,250	18	,037

L'analyse des données de la présente recherche indique que la moyenne de la fréquence cardiaque est plus haute en condition de déshydratation qu'en condition d'hydratation. La différence entre les deux groupes est significative ($p < 0.05$). Nous pouvons affirmer que la déshydratation a un impact sur la fréquence cardiaque lors d'un exercice aérobic de 20' en course à pied. Cela est également valable pour la fréquence cardiaque minimale. Par contre, l'analyse montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les moyennes de fréquence cardiaque maximale.

Quant aux valeurs moyennes de l'échelle de Borg, la différence est également significative ($p < 0.005$). La perception de l'effort est nettement plus haute en condition de déshydratation.

Lors des deux tests sur tapis roulant, nous avons également pris en compte certaines variables, à savoir la température corporelle, la pression artérielle, la lactatémie, le poids. Essayons de voir s'il existe des corrélations entre ces variables de contrôle et les variables

dépendantes. Nous n'allons pas tenir compte des valeurs de lactatémie. Nous avons obtenu des résultats improbables lors de certaines mesures, c'est pourquoi nous avons des doutes sur la fiabilité de l'appareil. Nous allons également laisser de côté les valeurs de la tension artérielle, car selon les indications d'utilisation de l'appareil, pour que l'appareil fonctionne correctement, l'utilisateur ne devrait pas faire d'exercice physique durant les 30 minutes qui précèdent la prise de la tension artérielle. Il se peut alors que les données soient erronées. Nous pouvons cependant apporter quelques précisions. La pression artérielle s'exprime avec deux chiffres. Le premier correspond à la pression systolique, c'est-à-dire la pression maximale au moment de la contraction du cœur. Le second chiffre représente la pression minimale au moment du relâchement du cœur, ce qu'on appelle la pression diastolique. Une personne souffrant d'hypertension a des valeurs supérieures à 140/90 mmHg. Au contraire, une personne avec une pression systolique inférieure à 90, on dit qu'elle souffre d'hypotension. Nous pouvons donc considérer une pression normale se situant entre 90 et 140 pour la pression systolique. Aucun des sujets n'avait une pression systolique inférieure à 90 que ce soit en condition d'hydratation normale ou en condition de sous - hydratation et cela avant et après le test. Cela nous permet de dire que personne ne souffre d'hypotension. Aucun des sujets n'avait une pression diastolique supérieure à 90 dans les conditions des tests. En revanche, nous avons constaté que plusieurs sujets avaient une pression systolique supérieure à 140. Il est difficile de se fier à ces résultats, étant donné les indications sur la notice d'utilisation de l'appareil. De plus, les sujets ne connaissaient pas leur tension habituelle, donc il était difficile pour eux de savoir si habituellement ils avaient une tension plus basse ou plus haute.

Nous allons, à présent, calculer le coefficient de corrélation entre les variables dépendantes et les variables de contrôle. Cela va nous servir à établir l'existence d'un lien, ainsi qu'à mesurer l'intensité de ce lien.

Dans l'analyse d'une corrélation deux valeurs sont importantes. Il s'agit de la corrélation de Pearson ($= r$) et la valeur de Sig (bilatérale) ($= p$). La corrélation de Pearson mesure le degré de liaison entre les variables dépendantes et indépendantes. 0 signifierait une absence de lien, alors que 1 représente un lien parfait entre les deux variables. Nous pouvons donc dire que la relation est parfaite si $r = 1$. La relation est très forte si $r > 0.8$. La relation est forte si r se situe entre 0.5 et 0.8. La relation est d'intensité moyenne si r se situe entre 0.2 et 0.5. La relation est faible si r se situe entre 0 et 0.2. Et enfin, la relation est nulle si $r = 0$. Il faut encore préciser que le signe +, placé avant, signifie que la relation est proportionnelle

(quand X augmente ou diminue, Y diminue ou augmente). Tandis que le signe – signifie que la relation est inversement proportionnelle.

La valeur de Sig (bilatérale) permet de décider si le r est significatif, autrement dit si la corrélation observée entre les deux variables existe au sein des sujets. Il s'agit du test de signification de la pente. A nouveau, si $p > 0.05$, cela signifie que la corrélation observée est due au hasard (nous sommes en présence de l'hypothèse nulle). Si $p < 0.05$, nous pouvons conclure qu'il y a une corrélation entre les deux variables.

Nous allons nous intéresser uniquement aux variables qui sont corrélées entre elles dans les mêmes conditions. Le tableau complet des corrélations se trouve dans la partie annexe de ce travail.

Tab. 8: Relation entre les variables dépendantes et les variables indépendantes en condition d'hydratation

Variabes	n =	r =	Valeur de p	< 0.05 = *
Moy FC H	19	0.588	0.008	*
Moy Hum H				
Max FC H	19	0.641	0.003	*
Moy Hum H				
Min FC H	19	- 0.468	0.043	*
VMA (km/h)				

L'analyse des données de la présente recherche (tableau 8) montre qu'il existe une relation forte ($r > 0.5$) entre la moyenne de fréquence cardiaque et la moyenne d'humidité de la salle de test en condition d'hydratation. Nous voyons également une relation forte ($r > 0.5$) entre la fréquence cardiaque maximale et la moyenne d'humidité de la salle de test toujours en condition d'hydratation. Finalement, nous voyons une relation moyenne ($r < 0.5$), inversement proportionnelle entre la fréquence cardiaque minimale et la VMA.

Il est intéressant de souligner quelques points importants observés sur certaines variables. Intéressons-nous, tout d'abord à la température corporelle. La température corporelle centrale devrait se situer entre 36.1 et 37.8°C. Mais nous avons vu que lors d'un effort physique, cette dernière augmente. Lors du test sur tapis roulant en condition d'hydratation normale, 16 sujets sur 19 ont augmenté leur température corporelle. Tandis que lors du test en condition de sous - hydratation, seuls 11 sujets sur 19 ont augmenté leur température corporelle. Nous constatons alors que le fait de moins bien s'hydrater a un impact sur la température corporelle. Cependant, selon McArdle et al. (2004) «en état de déshydratation, une perte de liquide de 1% du poids corporel environ augmente significativement la température rectale par rapport au même exercice réalisé dans un état normohydraté.» (p.

229) Nous constatons donc des résultats différents par rapport à des ouvrages scientifiques. Il faut cependant préciser que nous avons pris la température des participants dans l'oreille, cela donne peut-être des résultats moins fiables qu'une prise de température rectale.

En dernier lieu, nous nous sommes intéressés à la variable du poids. Etant donné que nous sommes partis du principe qu'une perte d'eau égale à 1% de son poids du corps, réduisait les aptitudes physiques, la variable du poids peut être intéressante à analyser un peu plus en détail.

Tab. 9: Mesures de poids avant en état hydraté et sous-hydraté, ainsi que la différence et le pourcentage que cela représente

	<i>Hydraté avant (kg)</i>	<i>Sous-hydraté avant (kg)</i>	<i>Différence (kg)</i>	<i>% perdu</i>
Sujet 1	69	68.2	0.8	1.159
Sujet 2	62.7	62.2	0.5	0.797
Sujet 3	90.9	90	0.9	0.990
Sujet 4	58.4	57.5	0.9	1.541
Sujet 5	66.4	65.9	0.5	0.753
Sujet 6	82.1	81.2	0.9	1.096
Sujet 7	74	71.8	2.2	2.973
Sujet 8	69.6	68.8	0.8	1.149
Sujet 9	74.8	75.4	-0.6	-0.802
Sujet 10	69.2	68.8	0.4	0.578
Sujet 11	80.2	80.6	-0.4	-0.499
Sujet 12	65.1	66.2	-1.1	-1.690
Sujet 13	80.4	79.3	1.1	1.368
Sujet 14	73.5	72.4	1.1	1.497
Sujet 15	75.3	74.4	0.9	1.195
Sujet 16	71.5	70.7	0.8	1.119
Sujet 17	71.4	71.3	0.1	0.140
Sujet 18	83.6	82.6	1	1.196
Sujet 19	48.7	47.7	1	2.053

Au final, 16 sujets étaient plus légers avant le test en condition de sous - hydratation. 11 participants ont perdu plus d'1% de leur masse corporelle et 5 participants ont perdu moins d'1% de leur masse corporelle. Seuls 3 participants ont pris du poids. Nous amènerons des hypothèses dans le point 3 « Discussion ».

3. Discussion

3.1. Discussion des résultats

Grâce à l'analyse des résultats, nous pouvons dire que la moyenne de la fréquence cardiaque est plus haute en condition de déshydratation qu'en condition d'hydratation. La différence entre les deux groupes est significative ($p < 0.05$), ce qui nous permet d'affirmer que la déshydratation a un impact sur la fréquence cardiaque lors d'un exercice aérobic de 20' en course à pied. L'analyse a également révélé que cela était vrai pour les valeurs de fréquence cardiaque minimale. Par contre, il n'y avait pas de différence significative entre les moyennes de fréquence cardiaque maximale. Nous pouvons expliquer cela par le fait que la fréquence cardiaque maximale est moins influencée par l'entraînement que la fréquence cardiaque minimale. Elle est davantage influencée par l'âge des participants, qui, dans notre cas, se situe dans une fourchette relativement serrée (18 – 27 ans). Quant aux valeurs moyennes de l'échelle de Borg, la différence est également significative ($p < 0.005$). La perception de l'effort est nettement plus haute en condition de déshydratation, et cela rejoint la littérature spécifique au sujet.

Nous pouvons également affirmer que tous les sujets ont participé aux deux tests dans les mêmes conditions. Nous n'avons pas trouvé de différence significative entre les moyennes de température et d'humidité de la salle de test en condition d'hydratation et de déshydratation.

Un point important à relever est le fait que tous les sujets du groupe B ont montré une dérive cardiaque, alors que ce n'est pas le cas pour le groupe A. Les deux groupes ont été réalisés de manière aléatoire, en essayant d'équilibrer hommes/femmes dans chacun d'eux et également d'avoir différents niveaux d'endurance dans les deux. La grosse différence entre les deux groupes était que, dans le groupe B, tous les sujets sauf un, étaient des étudiants en sport. Nous ne pouvons pas justifier précisément en quoi cela a amené une différence, mais nous pouvons formuler quelques hypothèses. Pour plusieurs d'entre eux, avant de passer le test en condition d'hydratation réduite, ils avaient eu un cours pratique. Cela a peut-être accentué l'effet de déshydratation car ils ont transpiré. D'autre part, ils ont peut-être mal évalué leur consommation journalière de boissons. La charge énergétique importante des cours pratiques exige une hydratation accrue. S'ils ont sous-estimé leur consommation moyenne, cela a pu amener une plus grande déshydratation que les 1% de leur poids corporel demandé. Enfin, cela est peut-être dû au hasard, les sujets du groupe B ont mieux suivi le protocole hydrique que les sujets du groupe A.

Lors de l'analyse, nous avons cherché des corrélations entre les variables indépendantes et les variables dépendantes. Nous avons trouvé une relation forte entre la moyenne de fréquence cardiaque et la moyenne d'humidité de la salle de test en condition d'hydratation. Nous avons également trouvé une relation forte entre la fréquence cardiaque maximale et la moyenne d'humidité de la salle de test toujours en condition d'hydratation. Et finalement, nous avons une relation moyenne entre la fréquence cardiaque minimale et la VMA. Par la théorie, nous savons que le taux d'humidité de la salle de test a une influence sur la déshydratation. Nous comprenons alors que la variable de l'humidité de la salle de test soit corrélée avec la fréquence cardiaque. Plus le taux d'humidité augmentera et plus le sujet souffrira de déshydratation, donc plus sa fréquence cardiaque dérivera. Cependant, nous aurions dû également voir une corrélation en condition de déshydratation. Cela peut se justifier dans le paragraphe suivant, "les limites". Nous comprenons également la corrélation entre la fréquence cardiaque minimale et la VMA. En effet, plus un athlète aura une VMA haute, plus sa fréquence cardiaque de repos sera basse (car il est entraîné). Il aura donc une fréquence cardiaque minimale basse. Par contre, nous n'observons pas de corrélation entre la VMA et la fréquence cardiaque maximale. La fréquence cardiaque maximale est moins influencée par l'entraînement que la fréquence cardiaque de repos. La fréquence cardiaque maximale diminue avec l'âge notamment. Tous nos participants se trouvaient dans une fourchette entre 18 et 27 ans, leur fréquence cardiaque maximale est encore haute et très peu influencée par leur niveau d'endurance. Par exemple, un athlète de 18 ans avec une haute VMA n'aura pas forcément une fréquence cardiaque maximale plus basse qu'un athlète de 18 ans avec VMA plus faible. Notons encore que nous n'avons pas de corrélation entre la fréquence cardiaque minimale et la VMA en condition de sous-hydratation. Nous reviendrons également sur ce point dans les limites de ce travail.

Pour le test en condition de déshydratation, nous avons demandé aux participants de diminuer leur consommation de boissons de 1% de leur poids corporel. Dans les résultats, nous constatons que trois sujets n'ont pas perdu de poids, mais en ont gagné. Nous savons que le sujet 12 avait perdu du poids la semaine avant le test en condition d'hydratation normale, cela dû à une grosse période de stress. Nous pouvons donc penser qu'il est revenu à son poids de base entre les deux tests. Quant au sujet 11, il participait à une course de peau de phoque quelques jours avant le test en condition de déshydratation, cela a pu avoir une influence sur son poids. Pour bien récupérer, il a peut-être mangé un peu plus. Pour le sujet 9, nous n'avons pas d'information plus précise.

Nous constatons que nous avons obtenu les résultats attendus, toutefois certains points peuvent être discutés. C'est ce que nous allons voir dans le paragraphe suivant.

3.2. Limites

La plus grande limite de ce travail est le fait qu'il n'existe pas de formule universelle pour évaluer une déshydratation. Comme mentionné dans le paragraphe "1.3.2 Déshydratation" de la partie théorique, nous n'avions ni les connaissances, ni les moyens matériels pour prélever de l'urine, du sang ou de la transpiration afin de confirmer plus précisément une déshydratation de nos sujets.

Nous avons donc demandé à tous les participants de diminuer leur consommation de 1% de leur poids du corps durant les trois jours qui précédaient le test sur tapis roulant en condition de sous-hydratation. Etant donné que plusieurs sources littéraires mentionnaient le fait qu'une déshydratation de 1 à 2% du poids corporel avait des impacts négatifs sur des performances cognitives ou sportives, nous espérions avoir des résultats en utilisant ce protocole. Ce dernier n'est pas scientifiquement prouvé, et il reste très difficile à contrôler. En effet, chaque participant devait définir sa consommation journalière de boissons, et suite à cela diminuer de 1% de son poids du corps sa consommation journalière. Par exemple, un homme de 80kg buvant 3l par jour, devait boire maximum 2.2l pendant les trois jours précédant le test. Ce protocole a démontré plusieurs limites. Tout d'abord chaque participant devait définir sa consommation journalière de boissons. Il n'existe pas non plus de formule qui définit exactement le nombre de litres d'eau que nous devons boire par jour afin d'être hydraté adéquatement. Cela dépend de plusieurs facteurs, l'étude de Ritz (2007) a démontré que la répartition de l'eau dans le corps variait selon le sexe et la composition corporelle. Elle suggère, par exemple, que les femmes sont plus vulnérables à la déshydratation que les hommes. (P. Ritz et al., 2007, p.470) D'autres facteurs entrent en ligne de compte, comme l'activité physique pratiquée, l'environnement extérieur (température, humidité), le pourcentage d'eau présent dans certains aliments, les boissons déshydratantes, ... Il se peut alors que les participants ont sur-évalué ou sous-évalué leur consommation journalière, et par conséquent le protocole appliqué n'a pas fonctionné de la même manière pour tous les participants. C'est le cas notamment du sujet 4 qui s'est rendu compte qu'il buvait bien plus que ce qu'il avait prédit. De ce fait, en diminuant sa consommation de 1% de son poids mais à partir d'une donnée erronée, cela a amené une plus grande déshydratation que les 1% de son poids du corps demandés. Il se peut que d'autres sujets soient dans le même cas.

Une seconde limite de ce protocole est le fait que justement nous n'avons pas pris en compte l'absorption d'aliments riches en eau (concombres, pastèques, ...) ou de boissons

déshydratantes (alcool). En effet, les participants se sont uniquement concentrés sur les boissons consommés. Il est possible que certains sujets n'aient pas beaucoup bu, mais ils ont mangé beaucoup d'aliments riches en eau, ce qui a faussé les résultats.

La troisième limite de ce protocole est le fait que nous n'avions aucun contrôle précis sur les participants. Nous leur avons demandé de remplir un protocole hydrique où ils répertoriaient tout ce qu'ils buvaient, mais nous ne pouvions pas vérifier qu'ils ont réellement bu uniquement ce qui était noté dans le protocole. Nous n'avions pas d'autre choix que de leur faire confiance.

La dernière limite de ce protocole est le fait d'avoir demandé une déshydratation de 1% de leur poids du corps. Une majeure partie des études (Riché, Costill) mentionnait une perturbation de 20% des performances physiques et cognitives à partir d'une perte en eau de 2% du poids du corps. Ces études mentionnaient déjà un effet avec une perte en eau de 1%, c'est pourquoi nous nous sommes basés là-dessus, mais peut-être que ce n'était pas assez pour voir des résultats significatifs chez tous. Malheureusement, nous devons opter pour la meilleure solution, il était déjà difficile pour les sujets de réduire de 1% leur consommation, nous ne pouvions pas leur demander 2%. Notons que chez certains sujets, une perte de 1% a occasionné une plus grande fatigue, ainsi que des maux de tête.

Nous constatons que du fait de ne pas avoir de méthode valide pour évaluer une déshydratation, cela a eu un fort impact sur les résultats de ce travail. En effet, chez certains la dérive cardiaque était très bien marquée, alors que chez d'autres elle était minime voire inexistante pour certains.

3.3. Comparaison avec d'autres publications

Nous n'avons pas lu d'études qui traitaient exactement du même sujet, à savoir quel est l'impact de la déshydratation sur la dérive cardiaque en course à pied. Cependant, d'autres études traitent de certains points.

L'étude de Merry et al. (2009) est peut-être celle qui se rapproche le plus de notre travail. Six sportifs entraînés et six sportifs non entraînés devaient réaliser un exercice sur vélo en condition d'hydratation normale et réduite. L'effort durait 40 minutes à une intensité de 70% du maximum aérobie. Ils ont pris en considération l'évolution cardiaque, la température rectale, la sudation, ainsi que l'osmolarité plasmatique. Ils ont obtenu les résultats suivants. En étant moins hydraté, la fréquence cardiaque augmentait plus chez les personnes non entraînés alors qu'elle ne changeait pas chez les sportifs. Ils ont eu les mêmes résultats en ce qui concerne la température. Ils ont pu expliquer ces résultats en partie grâce à la

différence de sudation. Ils sont tout de même arrivés à la conclusion que la performance tend à être réduite que les personnes soient entraînées ou non.

L'étude de Van Schuylenbergh et al. (2004) a étudié l'effet de la déshydratation induite par l'effort sur plusieurs paramètres pendant un exercice progressif en vélo. En ce qui concerne le paramètre de la fréquence cardiaque, ils sont arrivés à la conclusion suivante. Cette dernière ne change pas lorsque les cyclistes ont été hydratés pendant l'exercice. Inversement, ils ont constaté une augmentation d'environ 10 battements par minute lorsqu'ils ne compensaient pas les pertes de fluide. Ils sont arrivés à la conclusion que la fréquence cardiaque, plutôt que la puissance de la sortie, devait être utilisée pour surveiller la charge d'entraînement chez les cyclistes qui exercent dans des conditions environnementales prédisposant à la déshydratation. Par conséquent, ils ont pu dire que la réhydratation adéquate était essentielle pour préserver l'efficacité mécanique optimale.

L'étude de Zouhale et al. (2010, cité par Pitsiladis et Beis, 2012, p.1) a démontré que les coureurs ayant perdu du poids lors d'un marathon avaient de meilleures performances que les autres. Ces résultats s'opposent donc aux conclusions d'études préalables affirmant qu'une perte de poids corporelle de plus de 2% diminuerait d'environ 20% les performances sportives. Cependant, cette étude ne tient pas compte du niveau d'entraînement des coureurs. Une hypothèse pourrait être que le métabolisme des coureurs les mieux entraînés s'adapte à la déshydratation, ou alors que ce type de population connaît mieux ses besoins individuels et ses limites. Pour leur étude, il aurait été alors pertinent de comparer les performances de coureurs de même niveau dans différentes conditions d'hydratation afin de mesurer l'impact réel de la déshydratation sur les résultats sportifs des coureurs. Pour notre travail, il n'était pas possible d'avoir uniquement des sujets de même niveau, en effet, nous avons déjà eu de la peine à recruter 19 sujets, nous ne pouvions pas nous permettre de les sélectionner selon leur niveau.

Des études réalisées en cyclisme sont également arrivées à des conclusions fort intéressantes. Ils ont conclu qu'une perte de masse corporelle de 4% n'a pas affecté les performances à vélo. (Pitsiladis et Beis, 2012, p.2) Des études ont montré que les meilleurs marathoniens, pendant une performance, maintiennent leur perte de masse corporelle dans les limites recommandées (à savoir 2 à 3 %). Ce qui les amène à dire que les athlètes qui perdent le plus de masse corporelle, connaissent plus de succès. Ils suggèrent alors qu'il existe une valeur acceptable pour la déshydratation qui peut ne pas avoir une incidence négative sur l'exécution de la performance. (Pitsiladis et Beis, 2012, p.2)

Nous constatons, avec ces diverses études, que les résultats ne sont pas toujours les mêmes. Cependant, nous pouvons tout de même conclure qu'en cas de déshydratation, la fréquence cardiaque augmente, cela ne veut pas pour autant dire que la performance en sera diminuée.

Conclusion

Au cours de ce travail, nous avons cherché à répondre à la question suivante. Quel est l'impact de la déshydratation sur la dérive cardiaque au cours d'un effort continu et constant en course à pied. Pour ce faire, nous avons tout d'abord mis en place des notions théoriques, traitant notamment de l'entraînement en endurance, et de la thermorégulation. Ensuite, nous avons protocolé deux tests de course à pied sur tapis roulant dans deux conditions différentes afin de recueillir des résultats, de les analyser et de les discuter.

Au terme de ce travail, nous pouvons dire que la déshydratation a un impact sur la fréquence cardiaque au cours d'un effort continu à intensité constante. Du fait que nous avons pu observer une dérive cardiaque plus importante en condition de déshydratation qu'en condition d'hydratation normale, nous pouvons dire que la déshydratation a une plus grande influence que le coût énergétique de la foulée sur la dérive cardiaque. Nous rejoignons alors les propos de Laporte qui affirmait cela.

En conclusion, nous pouvons dire qu'il est important de remplacer les fluides perdus lors d'un effort. Cependant certaines études ont montré que les performances n'en sont pas forcément affectées par ce paramètre. Pour de futures recherches, le niveau des athlètes doit être pris en considération. En effet, les effets d'une déshydratation pourraient varier selon le niveau d'entraînement des sportifs.

Bibliographie

Ouvrages

- Auste, N. (1996). *Entraînement à l'endurance*. Paris: Vigot.
- Carré, F., Laporte, T. (2009). *Le guide du cardiofréquencemètre*. Paris: Frison-Roche.
- Costill, L. D., Wilmore, J. H., Kenney, W. L. (2006). *Physiologie du sport et de l'exercice*. (3^e éd.) Bruxelles: De Boeck.
- Costill, L. D., Wilmore, J. H., Kenney, W. L. (2009). *Physiologie du sport et de l'exercice*. (4^e éd.) Bruxelles: De Boeck.
- Dufour, M. (2011). *La gazelle et l'athlète: l'endurance*. Chavéria: Volodalen.
- Gindre, C. (2013). *Courir en harmonie*. (2^e éd.) Chavéria: Volodalen.
- McArdle, W. D. (2001). *Physiologie de l'activité physique: énergie, nutrition, performance*. (4^e éd.) Paris: Maloine, 4^e édition.
- McArdle, W. D. (2004). *Nutrition et performance sportives*. Bruxelles: De Boeck.
- Reiss, D., Prévost, P. (2013). *La bible de la préparation physique*. Paris: Amphora.
- Riché, D. (1998). *Guide nutritionnel des sports d'endurance*. (2^e éd.) Paris: Vigot.
- Van Den Bosch, P. (2007). *Mieux s'entraîner grâce au cardiofréquencemètre*. Roubaix: Chantecler.

Articles publiés

- Chevront, S., Kenefick, R. W., Charkoudian, N., Sawka, M. N. (2013). Physiologic basis for understanding quantitative dehydration assessment. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 97, p. 455 – 462.
- Laporte, T. (2006). Le cardiofréquencemètre: de la théorie à la pratique. *Cardio et Sport*, 8, p. 22 – 30.
- Merry, T. L., Ainslie, P. N., Cotter, J. D. (2009). Effects of aerobic fitness on hypohydration-induced physiological strain and exercise impairment. *Acta Physiologica*, 2010, 198, 179–190.
- Pitsiladis, Y., Beis, L. (2012). To drink or not to drink to drink recommendations: the evidence. *BMJ*, 2012, 345.
- Ritz, P., Vol, S., Berrut, G., Tack, I., Arnaud, M. J., Tichet, J. (2007). Influence of gender and body composition on hydration and body water spaces. *Clinical Nutrition*, 27, p. 740 – 746.
- Van Schuylenbergh, R., Vanden Eynde, B., Hespel, P. (2004). Effect of exercise-induced dehydration on lactate parameters during incremental exercise. *Int J Sports Med* 2005; 26: 854 – 858.

Travaux non publiés

- Calvarese, V., Berthet, D. (2011). *Hydratation, football et performance*. Trav. de dipl. non publié, Haute école de santé Genève, Filière nutrition et diététique.

Références électroniques

- Volodalen: site axé sur la course à pied. Consulté le 6 janvier 2014.
 - o Entraînement: <http://www.volodalen.com/12entraînement/entraînement.htm>
 - o Physiologie: <http://www.volodalen.com/13physiologie/physiologie.htm>
- Gacon, G. *Signification et rôle de la fréquence cardiaque dans l'entraînement aérobie*. Consulté le 12 juin 2014.
 - o <http://preparationphysique.net/download/fc-gacon.pdf>
- Coaching: sport et santé. Consulté le 5 juillet 2014.
 - o <http://www.fc-coaching.fr/index.html>
- Humidité relative et température. Consulté le 15 mai 2014.
 - o <http://www.ccq.gouv.qc.ca/index.php?id=171>, consulté le 15 mai

Remerciements

En premier lieu, je souhaite remercier mon co-conseiller, Alain Rouvenaz, qui m'a suivi du début à la fin en m'apportant les conseils nécessaires pour le bon déroulement de mon travail.

Je souhaite également remercier sincèrement les personnes qui ont participé aux différents tests. Sans eux, ce travail n'était pas réalisable. Un merci en particulier à ma sœur, Gwendoline, et à François qui m'ont apportée leur aide lors des différents tests en récoltant les données.

Finalement, j'adresse un grand merci à Anne et à Virginie qui ont accepté de relire ce travail.

Déclaration personnelle

"Je sous-signée certifie avoir réalisé le présent travail de façon autonome, sans aide illicite quelconque. Tout élément emprunté littéralement ou mutatis mutandis à des publications ou à des sources inconnues, a été rendu reconnaissable comme tel."

Massonnens, le 4 juillet 2014

Droits d'auteur

"Je sous-signé-e reconnais que le présent travail est une partie constituante de la formation en Sciences du Mouvement et du Sport à l'Université de Fribourg. Je m'engage donc à céder entièrement les droits d'auteur - y compris les droits de publication et autres droits liés à des fins commerciales ou bénévoles - à l'Université de Fribourg.

La cession à tiers des droits d'auteur par l'Université est soumise à l'accord du (de la) sous-signé-e uniquement. Cet accord ne peut faire l'objet d'aucune rétribution financière."

Massonnens, le 4 juillet 2014

Protocole hydrique que les participants ont dû remplir avant chacun des tests (2/2)

1 jour avant le test (date): _____

Répertoriez toutes les boissons (nature de la boisson) que vous avez consommées, ainsi que la quantité (en litres):

Nature de la boisson (eau, café, coca, jus, ...)	Quantité (l)
Total	

Test (date et heure): _____

Répertoriez toutes les boissons (nature de la boisson) que vous avez consommées, ainsi que la quantité (en litres):

Nature de la boisson (eau, café, coca, jus, ...)	Quantité (l)
Total	

Remarques:

Protocole test hydratation/déshydratation

1. Expliquer aux participants le but, le déroulement, les points importants
2. Leur faire lire le consentement et le signer
3. Prendre la tension. Position assise sur la chaise, bras droit, main ouverte.
4. Prendre la température
5. Prendre le taux de lactate: Calibrer l'appareil, essuyer la première goutte, lire le résultat après 1 minute.
6. Mettre la ceinture. Attention à ce qu'elle tienne bien!
7. Se peser
8. Expliquer la course sur tapis roulant: à quelle vitesse, ils ne doivent pas parler. A la fin du test, ils doivent donner un chiffre sur l'échelle de Borg, descendre du tapis, se peser, et aller s'asseoir.
9. Allumer l'enregistrement du thermomètre → contrôler carte SD (date, heure)
10. Mettre l'émetteur
11. Commencer le test, 5 min de marche à 5km/h et 20 min de course à 75% de leur VMA
12. Fin du test: Arrêt du tapis roulant
13. Echelle de Borg
14. Enclencher chronomètre pour 3 min (pour la prise du taux de lactate).
15. Se peser
16. S'asseoir
17. Après 3 min, prise de la lactatémie
18. Prendre la tension. Position assise sur la chaise, bras droit, main ouverte.
19. Prendre la température
20. Arrêter l'enregistrement du thermomètre de la pièce
21. Enlever la ceinture
22. Donner les explications pour le test suivant
23. Questions?

Tableau représentant les corrélations entre les différentes variables en condition d'hydratation normale

		Corrélations									
		VMA	MoyFC H	MinFC H	Borgh	Difpoids H	MoyHu mH	Moytemp PièceH	MaxFC H	DifTempco rph	
VMA	Corrélation de Pearson	1	-.285	-.468*	-.043	-.328	-.211	-.128	-.277	-.125	
	Sig. (bilatérale)		,236	,043	,862	,171	,386	,600	,251	,610	
	N	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
MoyFCH	Corrélation de Pearson	-.285	1	,604**	,402	-.286	,588**	,215	,982**	,195	
	Sig. (bilatérale)	,236		,006	,088	,235	,008	,378	,000	,424	
	N	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
MinFCH	Corrélation de Pearson	-.468*	,604**	1	,300	,071	,362	,106	,515**	,338	
	Sig. (bilatérale)	,043	,006		,212	,774	,128	,667	,024	,158	
	N	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
Borgh	Corrélation de Pearson	-.043	,402	,300	1	-.058	,253	,218	,404	,012	
	Sig. (bilatérale)	,862	,088	,212		,815	,295	,369	,087	,962	
	N	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
DifpoidsH	Corrélation de Pearson	-.328	-.286	,071	-.058	1	,050	-.103	-.300	-.455	
	Sig. (bilatérale)	,171	,235	,774	,815		,839	,673	,212	,050	
	N	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
MoyHumH	Corrélation de Pearson	-.211	,588**	,362	,253	,050	1	,152	,641**	,022	
	Sig. (bilatérale)	,386	,008	,128	,295	,839		,533	,003	,927	
	N	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
Moytemp PièceH	Corrélation de Pearson	-.128	,215	,106	,218	-.103	,152	1	,240	-.200	
	Sig. (bilatérale)	,600	,378	,667	,369	,673	,533		,323	,413	
	N	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
MaxFCH	Corrélation de Pearson	-.277	,982**	,515*	,404	-.300	,641**	,240	1	,179	
	Sig. (bilatérale)	,251	,000	,024	,087	,212	,003	,323		,463	
	N	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
DifTempcorp H	Corrélation de Pearson	-.125	,195	,338	,012	-.455	,022	-.200	,179	1	
	Sig. (bilatérale)	,610	,424	,158	,962	,050	,927	,413	,463		
	N	19	19	19	19	19	19	19	19	19	

*. La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Tableau représentant les corrélations entre les différentes variables en condition de déshydratation.

		Corrélations									
		VMA	MoyFCS	MaxFCS	MinFCS	BorgS	DiftempCorpS	MoyhumS	Moytemp PiècesS	DifpoidsS	
VMA	Corrélation de Pearson Sig. (bilatérale) N	1	,267	,262	-,447	-,349	-,131	,356	-,276	-,114	
MoyFCS	Corrélation de Pearson Sig. (bilatérale) N	,267	1	,983**	,778**	,290	-,112	,073	,277	-,011	
MaxFCS	Corrélation de Pearson Sig. (bilatérale) N	,268	,983**	1	,719**	,280	,648	,766	,252	,964	
MinFCS	Corrélation de Pearson Sig. (bilatérale) N	,279	,000	,719**	1	,246	,793	,064	,345	,053	
BorgS	Corrélation de Pearson Sig. (bilatérale) N	,447	,778**	,719**	1	,258	-,082	-,056	,143	,072	
DiftempCorpS	Corrélation de Pearson Sig. (bilatérale) N	,055	,000	,001	,001	,286	,739	,819	,559	,770	
MoyhumS	Corrélation de Pearson Sig. (bilatérale) N	,19	,19	,19	,19	,19	,19	,19	,19	,19	
Moytemp PiècesS	Corrélation de Pearson Sig. (bilatérale) N	,349	,290	,280	,258	1	-,340	-,079	,013	,291	
DifpoidsS	Corrélation de Pearson Sig. (bilatérale) N	,143	,246	,246	,286	,154	,154	,748	,957	,227	
		,19	,19	,19	,19	,19	,19	,19	,19	,19	
		-,131	-,064	-,064	-,082	-,340	1	-,367	-,079	-,024	
		,593	,793	,739	,739	,123	,123	,123	,748	,924	
		,19	,19	,19	,19	,19	,19	,19	,19	,19	
		,356	,064	,064	-,056	-,079	-,367	1	-,081	-,094	
		,135	,794	,819	,819	,748	,123	,742	,742	,701	
		,19	,19	,19	,19	,19	,19	,19	,19	,19	
		-,276	,345	,143	,143	,013	-,079	-,081	1	,109	
		,253	,147	,559	,559	,957	,748	,742	,742	,658	
		,19	,19	,19	,19	,19	,19	,19	,19	,19	
		-,114	-,011	,053	,072	,291	-,024	-,094	,109	1	
		,642	,964	,829	,770	,227	,924	,701	,658	,658	
		,19	,19	,19	,19	,19	,19	,19	,19	,19	

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).