



HAL
open science

Chaleur, sport et santé. Partie 1 : Impact psychologique de la chaleur sur la santé des sportifs

Guillaume Coudevylle, Aurélie Collado, Stéphane Sinnapah, Jean-Pierre Bouchard

► **To cite this version:**

Guillaume Coudevylle, Aurélie Collado, Stéphane Sinnapah, Jean-Pierre Bouchard. Chaleur, sport et santé. Partie 1 : Impact psychologique de la chaleur sur la santé des sportifs. *Annales Médico-Psychologiques, Revue Psychiatrique*, 2022, 180 (6), pp.598-605. <10.1016/j.amp.2022.04.007>. <hal-04697298>

HAL Id: hal-04697298

<https://hal.science/hal-04697298v1>

Submitted on 13 Sep 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

(Entretien)

Chaleur, Sport et Santé

Partie 1 : Impact psychologique de la Chaleur sur la Santé des Sportifs

Heat, Sport and Health

Part 1: Psychological Impact of Heat on Athletes' Health

Guillaume R. Coudevylle^a, Aurélie Collado^a, Stéphane Sinnapah^a, Jean-Pierre Bouchard^{b,c,d,e*}

^aUniversité des Antilles, laboratoire ACTES (EA 3596), 97 159, Pointe-à-Pitre, Guadeloupe, France

^bInstitut Psycho-Judiciaire et de Psychopathologie (IPJP), Institute of Forensic Psychology and Psychopathology, centre hospitalier de Cadillac, 89 rue Cazeaux Cazalet, 33410 Cadillac, France

^cUnité pour Malades Difficiles (UMD), pôle de psychiatrie médico-légale (PPML), centre hospitalier de Cadillac, 10 avenue Joseph Caussil, 33410 Cadillac, France

^dOrdre des Avocats de Bordeaux, 1 rue de Cursol, 33000 Bordeaux, France

^eStatistics and Population Studies Department, Faculty of Natural Sciences, University of the Western Cape, Robert-Sobukwe road, Bellville, 7535 Cape-Town, South Africa

* Auteur correspondant :

Jean-Pierre Bouchard, Institut Psycho-Judiciaire et de Psychopathologie (IPJP), Institute of Forensic Psychology and Psychopathology, centre hospitalier de Cadillac, 89 rue Cazeaux Cazalet, 33410 Cadillac, France. Adresse e-mail : jeanpierrebouchard@yahoo.fr (J.-P. Bouchard).

Résumé

Les déterminants individuels de la performance sportive, qu'ils soient physiques, physiologiques ou psychologiques, font l'objet d'une littérature dense visant à mieux comprendre ce qui fait qu'un athlète est performant et comment on peut, par le biais de l'entraînement, l'amener à progresser. Dans cette recherche de la performance, il est très vite apparu que l'environnement pouvait jouer un rôle important et certains programmes d'entraînement intègrent aujourd'hui les conditions environnementales comme un levier parmi d'autres (s'entraîner en altitude ou en milieu chaud et humide). Mais si l'environnement est utilisé comme un levier de l'entraînement c'est parce qu'il fait peser sur l'organisme des contraintes physiologiques et psychologiques appelant des adaptations. En effet, le corps humain, exposé de façon répétée à des conditions d'exercice qui dépassent ses capacités initiales, s'adapte. C'est là le principe fondamental de l'entraînement. Or, les contraintes environnementales extrêmes, telles qu'une forte température parfois couplée à une forte hygrométrie, lorsqu'elles ne sont pas maîtrisées, ce qui est le cas en compétition, viennent amplifier le stress imposé à l'organisme, et l'athlète peut, mu par son envie de gagner, aller au-delà de ses limites et s'exposer à des risques importants pour sa santé. L'étude de ces contraintes sur le fonctionnement humain relève donc d'un enjeu majeur. Dans cette première partie d'entretien, les Docteurs Coudevylle, Collado et Sinnapah abordent l'impact négatif du climat chaud sur le fonctionnement psychologique des athlètes ainsi que sur le risque de blessure ou d'accident associé.

Mots clés : Environnement, condition climatique, performance, stress thermique, blessure, accident, psychologie de la santé, psychologie du sport, réchauffement climatique.

Abstract

The individual determinants of sports performance, whether physical, physiological or psychological, are the subject of a dense literature aiming to understand better what makes an athlete perform and how, through training, one can lead him or her to progress. In this search for performance, it very quickly became apparent that the environment could play an important role and some training programs now incorporate environmental conditions as one of several levers. Training at altitude or in a hot and humid environment are indeed avenues that have been successfully explored. But if the environment is used as a lever for training, it is because it places physiological and psychological constraints on the organism that require adaptations. Indeed, the human body, repeatedly exposed to exercise conditions that exceed its initial capacities, adapts. This is the fundamental principle of training. However, extreme environmental constraints such as high temperature, when not controlled, as is the case in competition, amplify the stress imposed on the body, and the athlete may, driven by his or her desire to win, go beyond his or her limits and expose himself or herself to significant health risks. This problem has recently become particularly salient with, on the one hand, global warming which is progressively raising the temperatures at which competitions are held, and on the other hand, the desire of certain emerging countries to offer major international competitions in environments which are sometimes particularly unsuitable for aerobic performance due to temperature and even hygrometry conditions which go well beyond the thermolysis capacities of the human organism during intense effort. If the components of sports performance (physical, physiological and psychological) are well documented in the scientific literature and fairly well taken into account by coaches and athletes, the thermal constraints in which training and competitions take place are much less considered, even though taking them into account is essential to perform without risk to health. The study of these constraints on psychological functioning is therefore a major issue. In this first part of

the interview, Drs. Coudevylle, Collado and Sinnapah discuss the negative impact of the hot climate on psychological functioning (perceptions, cognition, affects) as well as on the associated risk of injury or accident.

Key words: Environment, climatic condition, performance, heat stress, injury, accident, global warming, health psychology, sport psychology

1. Introduction

Réaliser des compétitions sportives, a fortiori à haut niveau, sans risque pour la santé implique de prendre en compte les capacités personnelles du sportif (techniques, physiologiques, psychologiques), ses conditions d'entraînement (préparation physique et psychologique), son hygiène de vie (alimentation, hydratation, sommeil, récupération) et les conditions environnementales dans lesquelles il va évoluer [21]. Ces conditions environnementales peuvent regrouper la température de l'air, l'exposition directe aux rayons du soleil et de la réverbération des sols ou de l'eau, l'humidité, le vent, les vêtements et le temps d'exposition [42]. Il est possible d'y ajouter la pollution atmosphérique, l'altitude, les allergènes, les caractéristiques du lieu de pratique mais aussi les équipements (de protection) que portent les athlètes ou l'impossibilité de s'hydrater de façon adéquate pendant l'effort. Si les connaissances sur les capacités personnelles du sportif, ses conditions d'entraînement et de vie sont assez bien considérées par les entraîneurs et les sportifs, les conditions environnementales et en particulier les conditions thermiques dans lesquelles les sportifs vont évoluer demeurent moins prises en compte dans la préparation alors même qu'elles sont essentielles pour performer sans risque pour la santé. Au regard du réchauffement climatique et de la volonté de certains pays émergents de proposer des grandes compétitions internationales, l'étude des conditions environnementales sur le fonctionnement physique et psychologique relève donc d'un enjeu majeur.

En plus de la préparation technique, tactique, physique et nutritionnelle, les athlètes de très haut niveau ont besoin d'un état psychologique optimal pour réaliser leurs meilleures performances, notamment en termes de contrôle émotionnel, de concentration et de motivation [48-50]. Or, une mauvaise prise en compte des contraintes environnementales peut non seulement impacter négativement leur fonctionnement psychologique avec toutes les répercussions sur leurs performances, mais peuvent aussi avoir des effets graves sur leur

santé. Une meilleure compréhension et une meilleure gestion des contraintes environnementales apparaissent donc cruciales pour les athlètes et leurs entraîneurs. Dans cette première partie d'entretien avec Jean-Pierre Bouchard, les Docteurs Coudeville, Collado et Sinnaph font état de l'importance de porter attention aujourd'hui plus qu'hier sur les contraintes environnementales et, en particulier, sur les contraintes thermiques. Ils rappellent les processus physiologiques impliqués dans de telles conditions et abordent les incidences négatives de ces contraintes sur les perceptions psychologiques (sensation et confort thermiques, effort, fatigue), les capacités cognitives (temps de réaction simple, de choix, attention, attention soutenue), les états affectifs (émotions) et motivationnels sous-jacents aux performances sportives (tâche de précision perceptivo-motrice) et les conséquences sur les risques de blessure et d'accident.

Le Docteur Guillaume Coudeville est le Doyen de la Faculté des Sciences du Sport de l'Université des Antilles. Il est également Maître de Conférence Habilité à Diriger des Recherches en psychologie du sport et de la santé au sein du laboratoire ACTES. Il est titulaire d'un doctorat de l'Université Paris-Sud (2003-2007) et d'un post-doctorat de l'Université de McMaster au Canada (2007-2008). Ses travaux de recherche sont divisés en deux thèmes principaux représentant deux domaines de recherche spécifiques. Le premier thème concerne les stratégies d'auto-handicap utilisées par les athlètes avant une performance. Le second thème traite de deux dynamiques de recherche complémentaires : la première vise à mieux comprendre l'impact du climat tropical sur le fonctionnement psychologique ; la seconde vise à mieux comprendre l'impact des stratégies permettant de limiter les effets délétères de ce climat sur le fonctionnement psychologique des étudiants et des athlètes. Le Docteur Guillaume Coudeville est aussi préparateur mental. Il a notamment dirigé l'accompagnement psychologique de l'équipe de France de Gymnastique Rythmique

(individuel) de 2008 à 2012 et celui des escrimeurs de l'équipe de France du Pôle Espoir Antilles-Guyane de 2012 à 2020.

Le Docteur Aurélie Collado est Maître de Conférence à la Faculté des Sciences du Sport de l'Université des Antilles. Titulaire d'un doctorat en Sciences de la Vie et de la Santé, ses travaux de recherches s'articulent principalement autour de deux axes. Le premier s'intéresse aux caractéristiques interindividuelles susceptibles de prédire et d'influencer la qualité de l'adaptation d'un individu à une situation ou un environnement extrême. Le second axe de recherche s'articule autour de la performance sportive et cognitive dans des environnements spécifiques contraignants, qu'ils soient inhabituels, extrêmes et/ou complexes. Le Docteur Aurélie Collado est aussi psychologue clinicienne et de la santé.

Le Docteur Stéphane Sinnapah est le Vice-Doyen de la Faculté des Sciences du Sport de l'Université des Antilles. Il est également Maître de conférences en sciences et techniques des activités physiques et sportives et titulaire d'un doctorat en sciences du sport. Ses travaux de recherche ont porté sur l'épidémiologie de l'activité physique et la performance sportive en climat tropical. Il a aussi exploré les thèmes de la santé, la forme physique et l'exercice chez les populations Indo-Asiatiques de Guadeloupe et a produit plus de 15 publications dans des revues évaluées par des pairs sur ces sujets. De 2009 à 2010, le Docteur Stéphane Sinnapah a été le coordinateur en Guadeloupe des réseaux de santé en charge de la pratique de l'activité physique pour lutter contre le diabète et l'obésité chez l'enfant.

2. Interview

2.1 Jean-Pierre Bouchard : Pourquoi les questions liées aux conditions thermiques sont-elles importantes à considérer aujourd'hui plus qu'hier ?

Guillaume Coudeville : Je vois essentiellement trois raisons pour lesquelles la question de la chaleur devient aujourd'hui une question qu'on ne peut éluder si l'on

s'intéresse à la santé des athlètes. La première est que, pour des raisons que les spécialistes en économie ou en géopolitique du sport expliqueraient mieux que moi, de grandes échéances sportives sont aujourd'hui organisées dans des endroits du monde où le climat est particulièrement chaud (Championnats du Monde d'athlétisme à Doha en septembre 2019, Jeux Olympiques à Tokyo, août 2021) ce qui ne manque pas, à chaque fois, de faire naître de nombreuses craintes relatives au niveau des performances qui y sont produites, mais aussi au risque de santé auxquels on expose les athlètes. Cette problématique est devenue particulièrement saillante avec, d'un côté, le réchauffement climatique qui élève progressivement les températures auxquelles se déroulent les compétitions, et de l'autre, la volonté de certains pays émergents de proposer de grandes compétitions internationales, dans des environnements parfois particulièrement peu adaptés à la performance aérobie à cause de conditions de température et/ou d'hygrométrie allant bien au-delà des capacités de thermolyse de l'organisme humain à l'effort intense. Le projet pharaonique d'organiser la Coupe du Monde de Football au Qatar en novembre 2022 dans des stades climatisés est l'illustration la plus évidente que la question des conditions thermiques est particulièrement d'actualité. Une autre manière d'envisager l'organisation de tels événements tout en prenant en compte l'urgence climatique est malgré tout possible même s'il importe entre temps de trouver des stratégies qui protègent le plus possible la santé des compétiteurs [17,19].

La seconde est qu'au-delà des enjeux économiques et politiques forts qui peuvent amener à organiser des compétitions dans des milieux thermiquement inadaptés à la performance aérobie, les températures globales montent inexorablement sous l'effet du réchauffement climatique et des endroits qui, jadis, ne posaient aucun souci particulier, en posent désormais. En effet, le lien entre température et performance aérobie est documenté [22] et il n'est pas nécessaire d'atteindre des températures extrêmes pour que la performance soit affectée, notamment quand le taux d'humidité de l'air est élevé. On a ainsi pu

documenter le lien existant entre température et performances produites lors des marathons de New York [33], Boston [45] ou Pékin [66] en montrant que les performances diminuent quand les températures montent. Mais les performances établies ne sont pas les seules à être remises en cause par le réchauffement climatique. La hausse des températures globales semble en effet contribuer à une hausse de la morbidité et de la mortalité que nous avons pu observer lors des vagues de chaleur qui ont touché l'Europe dans un passé récent [24]. Elle contribue aussi à une augmentation du risque lié à la pratique physique [2] lorsque les températures atteignent des extrêmes, ce qui devient plus fréquent avec le réchauffement climatique. Par ailleurs, la limitation de la performance et la mise en danger de l'athlète ne sont pas les deux seuls points à prendre en compte lorsque l'on s'intéresse au lien qui pourrait exister entre réchauffement climatique et pratique sportive. En effet, la hausse progressive des températures impacte la quantité d'activité physique de la population générale [8].

La troisième raison est que les records tombent et deviennent de plus en plus difficiles à battre, si bien qu'on s'approche assurément progressivement des limites humaines. Battre les records établis impose donc aujourd'hui pour les athlètes d'aller friser avec les limites physiologiques. D'ailleurs, on sait que les athlètes les plus performants sur les épreuves de longue durée sont aussi ceux qui terminent les épreuves avec des températures centrales les plus élevées [17]. Les échéances sportives majeures organisées dans des environnements chauds se multipliant, les températures globales augmentant et où l'homme se rapprochant progressivement des limites imposées par la biologie et la physiologie humaine, m'amènent à penser, tout comme l'ensemble de notre équipe de recherche, que la question de la température est plus que jamais une question centrale dans les réflexions menées sur la santé de l'athlète aérobie.

2.2 Quelles sont les composantes psychologiques des performances sportives ?

Guillaume Coudeville : La performance sportive de haut niveau est multifactorielle. Elle dépend à la fois des capacités intrinsèques de l'athlète (techniques, physiologiques, tactiques, psychologiques), de ses conditions d'entraînement (préparation technique, physique, tactique et psychologique), de son hygiène de vie (alimentation, hydratation, sommeil, récupération) et des conditions environnementales dans lesquelles se déroule la compétition [21]. Même si tous ces composants sont essentiels à l'atteinte d'un objectif élevé, tous n'ont pas le même impact sur la performance. De ce point de vue, les capacités psychologiques constituent une condition *sine qua none* à partir de laquelle les autres capacités pourront jouer un rôle décisif pour la suite. Un athlète qui n'est pas concentré ou n'est pas motivé ne pourra pas pleinement exploiter ses autres capacités (techniques, physiques, tactiques) et atteindre son objectif. L'étude de ces capacités psychologiques apparaît donc essentielle et suppose de bien les décomposer pour identifier d'une part, à quel niveau les besoins de l'athlète se font le plus sentir et d'autre part, repérer à quel niveau l'impact environnemental peut se révéler le plus délétère. Parmi les composants psychologiques, il est alors possible de distinguer les états motivationnels (confiance, détermination, persévérance), cognitifs (attention, concentration, mémorisation), affectifs (états d'humeur, émotions positives et négatives), perceptifs (effort, douleur, température, humidité). Ces états vont être à la fois influencés par les caractéristiques dispositionnelles de l'athlète (personnalité, styles explicatifs, estime de soi, buts d'accomplissement), par ses expériences passées et leur interprétation (attributions causales), par ses stratégies (de coping, d'auto-handicap), mais aussi par les conditions environnementales dans lesquelles se réalise la compétition qui peuvent apparaître à l'athlète comme facilitantes (ou plus facilitantes que pour l'adversaire) ou au contraire contraignantes (ou plus contraignantes que pour l'adversaire).

2.3 Jean-Pierre Bouchard : La chaleur est-elle forcément psychologiquement et physiquement néfaste pour les sportifs ?

Stéphane Sinnapah : La chaleur environnante n'est pas en soi néfaste pour l'effort. Elle peut même s'avérer positive lors des activités physiques brèves en constituant une forme d'échauffement passif du muscle [40]. Elle contribue même à une augmentation de la vitesse de conduction nerveuse [52]. En revanche, le problème se pose lors d'activités physiques de longue durée (e.g., semi-marathon, marathon, triathlon, ultra-trail) parce que le prolongement de l'effort, bien qu'à des intensités plus faibles, s'accompagne d'une dépense énergétique globale qui peut être largement supérieure. Or, la respiration cellulaire libère de l'énergie thermique comme toute combustion et dépenser plus d'énergie c'est aussi produire plus de chaleur. Lorsque l'environnement, par sa forte température, limite la capacité d'évacuation de l'énergie thermique libérée lors de la respiration cellulaire, la température centrale augmente. Le problème se trouve majoré lorsque la chaleur environnementale et la thermogenèse induite par l'exercice se cumulent à d'autres caractéristiques environnementales telles qu'une hygrométrie élevée. Ainsi, combinée à un taux d'humidité supérieur à 70%, la chaleur provoque un inconfort thermique et une baisse des capacités de thermorégulation caractéristique du climat tropical que l'on retrouve notamment dans la Caraïbe [36]. La saturation de l'air en eau limite l'évaporation visée par la sudation. Ceci induit une augmentation inexorable de la température centrale pendant toute la durée de l'exercice. Bien qu'inefficace, la sudation se poursuit malgré tout, conduisant à une déshydratation progressive de l'athlète lorsque ses pertes en eau ne peuvent être remplacées. L'augmentation de la température centrale est alors proportionnelle à l'intensité de l'exercice qui peut s'avérer dangereuse. Le professeur Noakes a suggéré, sous le terme de « *central governor* », que le système nerveux central régule l'intensité de l'exercice de façon à limiter le risque d'hyperthermie [60].

D'autres caractéristiques environnementales viennent accentuer l'inconfort thermique. Des chercheurs dans le domaine militaire ont par exemple aussi répertorié le vent en ce qu'il favorise la thermolyse par convection ou les vêtements en ce qu'ils limitent de façon plus ou moins importante les échanges thermiques pendant l'effort [39]. Il est possible d'ajouter la pollution atmosphérique, l'altitude, les allergènes et les caractéristiques du lieu de pratique. A ce titre, le bitume exposé aux radiations solaires provoque le « *Urbanheatisland* » qui est un phénomène d'accumulation de chaleur dans lequel les températures des zones urbaines sont plus élevées de 2 à 3 degrés que celles des zones environnantes [44]. Les températures proches des rivières peuvent être inférieures de 2°C par rapport à la température de l'air observée au point d'observation stationnaire le plus proche. La densité et la hauteur des bâtiments semblent impacter la température moyenne de l'air en modifiant l'efficacité de la ventilation [65]. Filmer les athlètes avec en arrière-plan la Tour Eiffel permet de très belles images mais peuvent aggraver l'inconfort thermique des athlètes lorsque ces compétitions sont réalisées lors des périodes chaudes. En définitive, ce n'est pas uniquement la chaleur qui est à considérer mais l'ensemble des contraintes environnementales qui pèsent sur les athlètes.

2.4 Jean-Pierre Bouchard : Pouvez-vous décrire le processus psychologique mis en place lors de la pratique sportive en situation de chaleur ?

Guillaume Coudeville : Le processus psychologique mis en jeu lors de la pratique sportive en situation de chaleur s'entrevoit à deux niveaux. A un premier niveau, il est possible d'observer des conséquences directes. Il s'agit essentiellement des questions d'engagement dans l'effort plus ou moins mis à mal en raison des représentations négatives à l'idée de pratiquer une activité physique de longue durée en pleine chaleur. Il peut s'agir par exemple des représentations des pratiquants fondées ou non sur les risques encourus sur la santé. A notre connaissance, il n'existe pas de travaux recensés dans la littérature scientifique

sur cette question mais il est probable que ce type de représentations joue un rôle dans la capacité à s'engager ou non dans des conditions thermiques contraignantes. Les expériences passées réalisées sans accompagnement particulier [19] peuvent conduire les athlètes à adopter des représentations négatives réduisant leur intention de s'engager. A ce titre, le modèle psychobiologique de la performance en endurance [47] offre un cadre conceptuel explicatif pour comprendre le processus psychologique mis en jeu lors des courses de longue durée en situation de chaleur. Ce modèle suppose que la régulation consciente du rythme est déterminée principalement par cinq facteurs cognitifs/motivationnels : 1/ la perception de l'effort, 2/ la motivation potentielle, 3/ la connaissance de la distance par rapport au temps pour la parcourir, 4/ la connaissance de la distance par rapport au temps restant à parcourir, 5/ l'expérience antérieure/mémoire de l'effort perçu lors d'exercices d'intensité et de durée variables). En parallèle, le modèle d'expectation-valence prône que la motivation est le produit des attentes de réussite et de la valeur de la tâche. Si l'un des deux facteurs est plus faible, la motivation peut être plus faible [25]. La personne évalue ses attentes et la valeur attribuée à la tâche pour chaque résultat ou difficulté perçue [41]. Les contraintes thermiques peuvent ainsi avoir des incidences négatives directes sur la confiance qu'a l'athlète dans sa capacité à réussir l'épreuve comme sur la valeur qu'il peut lui attribuer l'incitant en conséquence à se désengager. Au niveau des conséquences indirectes, je laisse le soin au Docteur Sinnapah de préciser le processus physiologique intermédiaire entre les contraintes thermiques et les conséquences psychologiques.

Stéphane Sinnapah : L'homme est homéotherme. Cela signifie qu'il fonctionne à une température centrale qui doit être relativement stable de 37°C environ. Il se trouve que son métabolisme est thermogénique, c'est-à-dire qu'il produit de la chaleur [54]. Ceci provient du fait qu'environ 60% de l'énergie qui est libérée par l'hydrolyse de l'ATP est perdue sous forme d'énergie thermique, ce qui contribue à réchauffer le corps. Or, si au repos les cellules

musculaires striées squelettiques ont un métabolisme faible, à l'effort [26], ce métabolisme peut grimper à des valeurs très importantes [1] libérant une quantité décuplée de chaleur, contribuant à faire monter la température corporelle. Pour lutter contre cette hausse et maintenir l'homéostasie, l'organisme humain dispose de plusieurs mécanismes thermolytiques dont le principal est la régulation du flux sanguin par vasomotricité [15]. Le problème est que ces mécanismes peuvent contribuer à une limitation de la performance. Ils peuvent en effet se traduire par une diminution du volume sanguin à cause de la sudation ce qui se traduit par une baisse du volume d'éjection systolique et de la perfusion musculaire. Pour maintenir l'apport sanguin aux organes, le cœur est contraint d'augmenter sa fréquence de battement. Cependant, la fréquence cardiaque est plafonnée pour chacun d'entre nous et, devoir atteindre un pourcentage plus élevé de sa fréquence cardiaque maximale pour produire un effort, conduit l'organisme à réguler à la baisse son niveau de performance. Le maintien d'une même intensité d'effort sous la chaleur est donc plus pénible pour l'athlète.

Guillaume Coudevylle : La littérature scientifique a identifié plusieurs paramètres psychologiques impactés par la chaleur. Les premières manifestations psychologiques du stress thermique sont d'ordre perceptives. On peut distinguer les perceptions thermiques telles que le confort thermique (perception agréable ou désagréable de se retrouver dans un environnement donné) et les sensations thermiques (ressenti plus ou moins important de chaleur). Le confort thermique perçu est négativement impacté par le bruit, la pollution atmosphérique, les couleurs et la lumière [13] mais aussi par une humidité relative élevée [20]. Une autre variable psychologique impactée par ce stress, en particulier pendant l'exercice, est l'effort perçu (RPE) [10]. L'échelle RPE est fréquemment utilisée, en particulier dans les études de physiologie de l'exercice [53]. Elle apparaît comme un outil pratique et valable pour surveiller et prescrire l'intensité de l'exercice, quels que soient l'âge,

le sexe, le niveau d'activité physique, les modalités de l'exercice ou le type de maladie coronarienne [58].

Quoi qu'il en soit, ces différentes perceptions peuvent être considérées comme des marqueurs psychologiques du stress thermique et constituer des indicateurs privilégiés pour évaluer les risques sur la santé des sportifs. Elles constituent également des variables médiatrices entre d'une part, la chaleur et l'hygrométrie évaluées par des indicateurs objectifs comme la *Wet-Bulb Globe Temperature* (WBGT) et d'autre part, les états affectifs et motivationnels. On peut supposer que l'inconfort thermique ressenti par les athlètes est réduit, ou au contraire, majoré en fonction de l'interprétation du risque qu'ils pensent prendre sur leur santé en poursuivant l'effort. Cette supposition s'appuie sur le constat que la performance inférieure produite par un athlète en climat chaud s'accompagne de valeurs physiologiques qui ne sont pourtant pas critiques laissant penser qu'il pourrait être plus performant. Comme indiqué précédemment, deux sportifs peuvent percevoir l'inconfort thermique et l'effort de manière différente et les inciter à arrêter ou à poursuivre leur effort. Ceci étant, deux sportifs peuvent aussi percevoir l'inconfort thermique et l'effort de la même manière, mais l'un peut considérer qu'il prend un risque pour sa santé et décider d'arrêter alors que l'autre ne le pense pas et choisit de continuer [20].

Même si peu de travaux de recherche ont porté sur l'impact de la chaleur sur les affects, certaines études montrent que l'état affectif est modifié par la seule exposition à la chaleur. Les individus signalent un affect négatif plus élevé dans un environnement chaud (50°C à 30% rH) que dans des conditions neutres (24°C à 30% rH) [30]. Des résultats similaires ont été obtenus en climat tropical (i.e., chaleur et humidité) avec des participants qui avaient un plus faible affect positif (i.e., attentif et excité) en climat tropical qu'en climat neutre [18].

La littérature scientifique a pu mettre en évidence que les facteurs cognitifs pouvaient également être impactés par les contraintes thermiques, avec une incidence différente selon le degré de complexité des tâches cognitives. Alors que des tâches simples telles qu'une tâche de temps de réaction simple ne sont pas affectées, des tâches plus complexes telles que les tâches de pointage [27], de mémoire de travail [31] et d'attention partagée [18] sont négativement affectées par le climat tropical. Les effets de la chaleur sur les performances cognitives dépendent de multiples facteurs personnels, tels que la compétence, le sexe, le statut d'hydratation et l'acclimatation à la chaleur. Ces effets dépendent également de nombreux facteurs externes, notamment la durée de la tâche, la méthodologie utilisée pour atteindre l'hyperthermie ainsi que l'intensité et la durée du stress thermique [29]. Par exemple, un changement, même faible, de température, peut avoir un impact significatif sur l'exécution de tâches cognitives complexes. En revanche, la performance des tâches cognitives simples ne sera affectée que si le changement de température est important [34] ou que les tâches cognitives se réalisent à un taux élevé d'hygrométrie [61]. En ce qui concerne le cas précis des processus attentionnels, plusieurs travaux de recherches ont évalué l'influence du climat sur ces derniers [56]. Dans un environnement chaud et sec, les personnes doivent utiliser davantage de ressources cognitives pour rester concentrées. Pour certains auteurs, une partie des ressources attentionnelles ne sont donc pas allouées à la tâche [16]. Si cette dernière implique de l'attention, notamment soutenue, les capacités cognitives humaines seront alors limitées [29]. L'effet de l'exposition passive à la chaleur sur la mémoire de travail et l'attention a également été étudié. La mémoire était altérée mais pas les processus attentionnels [32]. La combinaison de la chaleur et de l'humidité induit des niveaux de stress encore plus élevés et susceptibles d'avoir une incidence négative sur les performances. En effet, les individus ont une capacité cognitive limitée pour assurer des résultats positifs en raison des stimulations externes continues en compétition constante pour

un accès conscient limité au vaste espace de travail global, également dénommé « *Global Workspace Theory* » [4]. On peut ainsi présumer que la gêne induite par la chaleur et l'humidité (i.e., inconfort thermique, baisse des affects positifs) provoque un coût cognitif dommageable à la performance dans des tâches relativement complexes. Dès lors, la globalité des ressources cognitives (i.e., attentionnelles) n'est pas disponible et ainsi les performances dans des tâches cognitives et/ou sportives peuvent s'en trouver diminuées.

Enfin, même si très peu d'études ont été publiées sur le sujet, les conditions environnementales ont, de toute évidence, une influence sur les facteurs motivationnels. En plus de la question de la motivation à s'engager dans l'effort comme évoqué précédemment, la motivation à poursuivre cet effort constitue un élément indirectement impacté par les contraintes thermiques. En effet, ressentir un inconfort thermique en fin d'épreuve ne devrait pas affecter la confiance de l'athlète. À l'inverse, ressentir un tel inconfort en début ou en milieu d'épreuve peut le pousser à ressentir du doute quant à sa capacité à atteindre son objectif. L'athlète prête alors son attention aux perceptions négatives ressenties (inconfort, douleur) et aux conséquences d'un possible échec et d'un abandon au lieu de focaliser son attention sur les moyens pour atteindre son objectif. Or, lors de l'exercice de longue durée réalisé dans une ambiance chaude, la sensation de fatigue survient dans tous les cas prématurément et survient d'autant plus prématurément que l'athlète ne s'y est pas préparé par un entraînement spécifique en condition. Comme l'athlète s'attend à ressentir cette sensation de fatigue en fin de course, le risque de démotivation est accru. L'athlète va percevoir un écart très important entre son état de forme et la capacité d'effort qu'il reste à fournir pour atteindre l'objectif (terminer la course en bonne position). L'expérience de telles perceptions en début ou au milieu d'épreuve peut ainsi conduire l'athlète à réévaluer à la baisse ses attentes en matière de réussite (diminution de la confiance en soi) ainsi que la

valeur de la tâche (les inconvénients semblent plus importants que les avantages obtenus en cas de victoire), ce qui le pousse à réduire ses efforts et potentiellement à abandonner [20].

2.5. Jean-Pierre Bouchard : Les individus sont-ils tous psychologiquement et physiquement égaux face à la chaleur ?

Aurélie Collado : Un rapport récemment publié fait le point sur la variabilité interindividuelle en réponse à un stress thermique causé par une exposition à la chaleur, que ce soit dans le cadre professionnel ou sportif. Bien que cela dépende d'un certain nombre de paramètres tels que le type d'activité, l'intensité du travail et le taux d'humidité, il apparaît par exemple qu'une capacité aérobie élevée et/ou une bonne acclimatation à la chaleur représenteraient les facteurs les plus protecteurs lors d'une exposition à la chaleur a contrario d'une faible condition physique et/ou d'un manque d'acclimatation à la chaleur [28]. Si l'acclimatation apparaît comme essentielle, il est intéressant de noter que la difficulté thermorégulatoire et cardiaque liée à l'effort en climat chaud et humide s'observe aussi chez les individus pourtant natifs du climat tropical lors d'un exercice intensif et prolongé [63]. En second plan, l'âge (i.e., supérieur à 50 ans), certaines pathologies telles que le diabète, et le sexe masculin pourraient constituer d'autres facteurs négatifs, bien que moins importants [28]. Par exemple, les femmes, pourraient en effet être avantagées en climat tropical et ce pour plusieurs raisons. Leurs hormones sexuelles favorisent la rétention d'eau et leurs glandes sudoripares sont moins sensibles et produisent moins de sueur [64]. Il apparaît par ailleurs que leur masse corporelle plus faible, en amoindrissant la dépense énergétique liée à son déplacement, permet aux femmes de générer moins d'énergie thermique que les hommes [37,43].

Si la question de la variabilité interindividuelle face à la chaleur semble assez bien documentée sur le plan physiologique, les travaux portant sur les aspects psychologiques sont moins développés. Or, de nombreux travaux menés sur les environnements extrêmes

s'accordent sur le rôle de facteurs situationnels (e.g., états d'humeur) et dispositionnels (e.g., traits de personnalité) dans l'adaptation physique et psychologique à ces environnements [9]. Les environnements extrêmes sont des environnements inhabituels, voire hostiles, qui présentent de fortes contraintes physiques, psychologiques et parfois même sociales [55]. Bien que l'exposition à la chaleur ne puisse pas forcément toujours être considérée comme extrême, elle impose des contraintes physiques qui, comme l'a expliqué le Docteur Sinnapah précédemment, peuvent peser sur l'homéostasie mais aussi sur le fonctionnement psychologique de la personne. Ainsi, l'exposition à un stress thermique important nécessite une réponse adaptative de la part de l'individu. Dans ce contexte, une étude exploratoire s'est intéressée à l'influence des traits de personnalité sur les réponses des individus lors d'une exposition à un stress thermique [42]. Les résultats suggèrent que certains traits tels que l'Extraversion (i.e., recherche de contact avec l'environnement, principalement social, et de ses stimulations agréables), et le Névrosisme (i.e., tendance générale à ressentir des affects négatifs comme la colère, la tristesse ou la peur) [57] pourraient être liés à différents paramètres physiologiques mesurés lors d'une exposition passive de 90 minutes à la chaleur (40°C) et au froid (10°C). Dans le cas de l'exposition à la chaleur, un score élevé d'Extraversion est corrélé à un faible taux d'inconfort alors que le Névrosisme semble, quant à lui, associé à une tolérance réduite, à un plus grand inconfort et à une diminution du taux de sudation. Les auteurs suggèrent que les différentes réponses observées chez les individus présentant un trait de Névrosisme élevé pourraient être causées par une activité accrue du système nerveux sympathique. Ainsi, l'exposition à un stress thermique peut ne pas avoir les mêmes effets et conséquences selon les individus. Compte-tenu des liens entre l'augmentation de la sécrétion de cortisol lors d'un stress (particulièrement lorsqu'il est de longue durée) et les troubles dépressifs [12], il apparaît donc pertinent de considérer la

question de la variabilité interindividuelle à la fois sur le plan physiologique mais aussi sur le plan psychologique.

Même si cela n'a pas encore été investigué, les buts d'accomplissement des athlètes peuvent constituer une autre caractéristique dispositionnelle importante à considérer dans la réalisation d'une épreuve en situation de stress thermique. Selon la théorie de la motivation d'accomplissement, un sentiment de compétence est généré à partir de l'atteinte d'un but qui peut être défini selon des critères auto-référencés ou normativement référencés [23,46]. Les buts de maîtrise [3], également appelés buts auto-référencés, buts d'implication dans la tâche [46] ou buts d'apprentissage [23], consistent à chercher à maîtriser une tâche ou à progresser dans celle-ci. Les buts de performance [23], encore dénommés buts normativement référencés ou buts d'implication de l'ego [46], sollicitent un processus de comparaison sociale dans la mesure où ils correspondent à l'intention de démontrer plus de compétence que les autres. La manière d'appréhender et de gérer une épreuve de longue durée sous contrainte thermique peut ainsi être totalement différente en fonction des buts personnels des athlètes. On peut supposer par exemple qu'un athlète centré sur la comparaison sociale et la volonté de battre les autres soit enclin à accorder moins d'attention à la gestion de son effort (et potentiellement à son refroidissement et à son hydratation) au cours de l'épreuve comparativement à un athlète animé avant tout par des buts de maîtrise de la tâche qui va prendre plus de soin à adapter son allure en fonction de la situation (difficulté du parcours, situation climatique, moment de l'épreuve). Ainsi, les conséquences de l'exposition à la chaleur pourraient être différentes selon les buts personnels de l'athlète conférant à celles et ceux disposant de façon plus marquée des buts de maîtrise de meilleures prédispositions que leurs homologues pour éviter l'hyperthermie et réussir ce type d'épreuve.

2.6 Jean-Pierre Bouchard : En quoi les conditions chaudes impactent-elles la santé psychique et physique des athlètes ?

Guillaume Coudeville : Outre la diminution de la performance aérobie en climat chaud, réaliser des efforts de longue durée sous contraintes thermiques conduit les athlètes à prendre des risques potentiellement importants pour leur santé. Réaliser une activité physique intense lors de condition chaude élevée peut engendrer un coup de chaleur [11] mais aussi provoquer une hyperthermie qui perturbe les fonctions cérébrales (e.g., réduction du débit sanguin cérébral, augmentation de la température du cerveau et compromission de l'oxygénation cérébrale) pouvant ainsi altérer les capacités cognitives [5].

Les athlètes, lorsque leurs capacités cognitives sont altérées, peuvent voir leur risque de chute ou de blessure augmenter, notamment sous l'effet d'un malaise lié à la chaleur, ce qui peut être particulièrement dangereux sur des terrains de pratique accidentés tels qu'on en rencontre sur certaines épreuves (trails, ultra-trails, VTT). Il en est de même pour toutes les activités sportives où la vigilance et les temps de réaction sont décisifs pour une pratique sécurisée (telles que les courses motorisées). Les athlètes maintiennent leur prise de risque alors qu'ils ne sont pas en mesure d'exploiter toute leur capacité attentionnelle du fait des perturbations environnementales. Le risque de chute (ou de choc avec un partenaire ou un adversaire) et de blessures du fait d'une non prise en compte de signaux corporels avant-coureurs (e.g., coup de chaleur, contusion, élongation, déchirure) sont alors particulièrement accrus.

Le manque de motivation est souvent décrié notamment pour expliquer un manque de réussite. En revanche, l'excès de motivation est plus rarement abordé comme possiblement négatif pour les sportifs. Plusieurs études ont d'ailleurs suggéré qu'un haut niveau de motivation lors d'un effort sous stress thermique pouvait conduire à ignorer les premiers signes et symptômes lié à la chaleur [51]. Un excès de motivation au regard de ces propres capacités et des contraintes environnementales élevées peut même s'avérer dramatique si l'athlète n'est pas en mesure d'écouter ses signaux corporels qui le poussent à s'arrêter (e.g.,

sensation de soif intense, chaleur corporelle accrue, fatigue musculaire, vertiges, étourdissement). N'ayant pas reconsidéré son objectif au regard des contraintes thermiques, l'athlète s'entête dans l'effort et accroît ainsi le risque d'hyperthermie mentionné précédemment. Enfin, les risques sur la santé liés au stress thermique peuvent être encore plus élevés si les athlètes présentent des fragilités respiratoires (asthme, allergies) et que les compétitions se déroulent lors de périodes où la qualité de l'air est mauvaise. Les particules pouvant être absorbées en cas de pollution atmosphérique sont d'autant plus importantes que l'intensité d'exercice est élevée (augmentation de la ventilation concomitante de l'intensité). Cette situation peut ainsi s'avérer dangereuse pour les sportifs sensibles ou affectés par des particularités respiratoires. Ainsi, plusieurs organisations sportives recommandent l'utilisation d'indices environnementaux tels que le WBGT pour évaluer le risque et fixer des limites environnementales pour l'entraînement et la compétition [9]. On peut ici citer l'exemple de l'Australie qui annule les compétitions lorsque l'indice WBGT est trop élevé ($WBGT \geq 30 \text{ °C}$) [38].

En plus des risques encourus pendant les épreuves, il est possible de mentionner également les conséquences psychologiques post-performances. Se préparer toute une année pour une épreuve de longue durée (marathon, trail, ultra-trail) et ne pas être « *finisher* » peut engendrer des affects négatifs, une baisse de la motivation et des symptômes dépressifs chez les athlètes. Même s'il conviendrait de le démontrer, le problème ne provient pas des contre-performances des athlètes qui sont rationnelles au regard des contraintes environnementales mais plutôt d'une absence de redéfinition préalable des objectifs compte-tenu de ces contraintes. Ai-je une préparation suffisante pour m'inscrire à un ultra-trail ? En plus de cette préparation, ai-je une préparation spécifique pour réaliser cette épreuve dans les conditions thermiques attendues ? La pression sociale incite des sportifs à s'inscrire à des épreuves qui les mettent en danger tant durant l'épreuve qu'après celle-ci. Ces objectifs, surestimés au

regard des capacités réelles, peuvent inciter certains sportifs à recourir à des produits dopants pour compenser la baisse des ressources énergétiques et cognitives causées par les contraintes thermiques.

La question de l'impact thermique sur la santé des sportifs constitue donc une condition *sine qua none* avant de chercher à viser des performances de haut niveau qui ne peuvent d'ailleurs se réaliser que si l'athlète est en pleine possession de ses ressources physiologiques et psychologiques. C'est donc à la fois une obligation éthique et à la fois un enjeu rationnel que de se préoccuper avant toute chose de la santé des athlètes amenés à réaliser des efforts soumis à des contraintes thermiques élevées [19].

2.7 Jean-Pierre Bouchard : Au final, quels liens peut-on faire entre l'exposition à la chaleur et la santé mentale des sportifs ?

Aurélie Collado : La littérature sportive à ce sujet semble manquer de données, probablement d'une part parce-que la question de la santé mentale chez les sportifs de haut-niveau est encore un sujet tabou (même si les langues commencent à se délier) mais aussi parce-que cela est complexe à évaluer et relèverait plus de l'étude de cas. En revanche, un certain nombre de données scientifiques, parfois issus de domaines d'études très différents, n'excluent pas un lien entre une température élevée de l'environnement et la présence de troubles mentaux chez des individus qui y sont exposés. On peut citer pour exemple la recrudescence de cas de violences observée dans des zones climatiques tropicales/subtropicales les mois où la température environnementale est particulièrement élevée, comme en témoigne une récente étude relatant des taux plus élevés de suicides, d'homicides et de meurtres (commis par des organisations de trafic de drogue) les mois les plus chauds à Mexico [7].

Si le rôle de la chaleur sur le développement de psychopathologies n'est pas clairement démontré, il est néanmoins intéressant de noter une vulnérabilité accrue à la

chaleur chez des individus présentant des troubles mentaux [62]. Santé Canada a, par exemple, étudié la morbidité et la mortalité liées à la chaleur et a identifié « un état mental altéré » parmi les facteurs de risque, incluant des symptômes de dépression et d'autres problèmes de santé mentale mais aussi la prise d'antidépresseurs et d'antipsychotiques. Les troubles mentaux, au travers des maladies psychiatriques préexistantes et des facteurs reliés comme la prise de médicaments psychotropes, apparaissent ainsi comme étant des facteurs de risque élevés [62]. Pendant les périodes caniculaires, un taux de mortalité d'environ deux fois plus élevé a été observé chez les patients psychiatriques par rapport à la population générale [6].

Au niveau des mécanismes de vulnérabilité à la chaleur chez les individus présentant des troubles mentaux, et au-delà du fait qu'ils présentent davantage de comorbidités (e.g., obésité, diabète, hypertension, maladies cardiovasculaires), il semblerait que les mécanismes de thermorégulation des personnes souffrant de troubles mentaux puissent être affectés par la médication mais aussi par la physiopathologie du trouble. Il a, par exemple, été observé chez des patients présentant une schizophrénie (traitée et non traitée) une température corporelle plus élevée par rapport à un groupe contrôle et ce, après la réalisation d'un exercice physique [35, 59]. Il se pourrait donc que la physiopathologie de certains troubles mentaux altère les mécanismes de thermorégulation entrant en jeu lors d'une exposition à la chaleur et/ou post-exercice.

Ainsi, il semblerait qu'une relation entre la chaleur et la santé mentale existe. Si le rôle de la chaleur dans l'apparition de troubles mentaux reste à prouver, la vulnérabilité accrue à la chaleur des personnes présentant des troubles mentaux a largement pu être observé. Or, à en croire le docteur en psychologie Makis Chamalidis qui écrit dans son ouvrage « Splendeurs et misères des champions » qu'« être sportif de haut niveau ne signifie pas avoir une bonne santé mentale, car cela suppose une démarche qui n'est pas

équilibrante, qui engrange des excès et exige beaucoup de recherche et de travail » [14], les sportifs de haut niveau pourraient constituer une catégorie d'individus potentiellement vulnérables à la chaleur. Les projets de recherche autour de la pratique sportive et de la santé mentale en condition de chaleur apparaissent aujourd'hui comme un champ d'investigation prometteur.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de lien d'intérêt.

Références

- [1] Ainsworth BE, Haskell WL, Leon AS, Jacobs DR Jr, Montoye HJ, Sallis JF, et al. Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 1993;25(1):71–80. Available from: <http://dx.doi.org/10.1249/00005768-199301000-00011>
- [2] American College of Sports Medicine, Armstrong LE, Casa DJ, Millard-Stafford M, Moran DS, Pyne SW, et al. American College of Sports Medicine position stand. Exertional heat illness during training and competition. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2007;39(3):556–72. Available from: <http://dx.doi.org/10.1249/MSS.0b013e31802fa199>
- [3] Ames C. Competitive, cooperative, and individualistic goal structures: A cognitive-motivational analysis. In: Ames R, Ames &c, editors. *Research on motivation in education*. Greenwich, CT: Academic Press; 1984. p. 177–208.
- [4] Baars BJ. How does a serial, integrated and very limited stream of consciousness emerge from a nervous system that is mostly unconscious, distributed, parallel and of enormous capacity? *Ciba Found Symp* [Internet]. 1993;174:282–90; discussion 291-303. Available from: <http://dx.doi.org/10.1002/9780470514412.ch14>
- [5] Bain AR, Nybo L, Ainslie PN. Cerebral vascular control and metabolism in heat stress. *ComprPhysiol* [Internet]. 2015;5(3):1345–80. Available from: <http://dx.doi.org/10.1002/cphy.c140066>
- [6] Bark N. Deaths of psychiatric patients during heat waves. *Psychiatr Serv* [Internet]. 1998;49(8):1088–90. Available from: <http://dx.doi.org/10.1176/ps.49.8.1088>
- [7] Baysan C, Burke M, González F, Hsiang S, Miguel E. Non-economic factors in violence: Evidence from organized crime, suicides and climate in Mexico. *J Econ Behav Organ* [Internet]. 2019;168:434–52. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jebo.2019.10.021>

- [8] Bernard P, Chevance G, Kingsbury C, Baillot A, Romain A-J, Molinier V, et al. Climate change, physical activity and sport: A systematic review. *Sports Med* [Internet]. 2021;51(5):1041–59. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-021-01439-4>
- [9] Bolmont B, Collado AM, Lane GP, Whyte RJ, Godfrey M. Human adaptation to extreme environments: The limits of personality. In: *Case Studies in Sport Science and Medicine*. CreateSpace Independent Publishing Platform; 2014.
- [10] Borg GAV. *Physical performance and perceived exertion*. Lund: Gleerups; 1962
- [11] Brotherhood JR. Heat stress and strain in exercise and sport. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2008;11(1):6–19. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2007.08.017>
- [12] Burke HM, Davis MC, Otte C, Mohr DC. Depression and cortisol responses to psychological stress: a meta-analysis. *Psychoneuroendocrinology* [Internet]. 2005;30(9):846–56. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.psyneuen.2005.02.010>
- [13] Candas V, Dufour A. Thermal comfort: multisensory interactions? *J Physiol Anthropol Appl Human Sci* [Internet]. 2005;24(1):33–6. Available from: <http://dx.doi.org/10.2114/jpa.24.33>
- [14] Chamalidis M. *Splendeurs et misères des champions*. Éditions de l'Homme, Broché; 2000.
- [15] Charkoudian N. Skin blood flow in adult human thermoregulation: how it works, when it does not, and why. *Mayo Clin Proc* [Internet]. 2003;78(5):603–12. Available from: <http://dx.doi.org/10.4065/78.5.603>
- [16] Chase B, Karwowski W, Benedict ME, Quesada PM, Irwin-Chase HM. A study of computer-based task performance under thermal stress. *Int J Occup Saf Ergon* [Internet]. 2003;9(1):5–15. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/10803548.2003.11076550>
- [17] Cheuvront SN, Haymes EM. Thermoregulation and marathon running: Biological and environmental influences. *Sports Med* [Internet]. 2001;31(10):743–62. Available from: <http://dx.doi.org/10.2165/00007256-200131100-00004>
- [18] Coudevylle GR, Popa-Roch M, Sinnapah S, Hue O, Robin N. Impact of tropical climate on selective attention and affect. *Hum Perf Extrem Environ* [Internet]. 2018;14(1). Available from: <http://dx.doi.org/10.7771/2327-2937.1109>
- [19] Coudevylle GR, Collado A, Baillot M, Sinnapah S, Bouchard JP. Chaleur, Sport et Santé. Impact des Stratégies pour Lutter contre la Chaleur sur la Santé des Sportifs (2ème partie). *Ann Med Psychol*. A paraître.
- [20] Coudevylle GR, Sinnapah S, Collado A, Fenouillet F, Hue O, Parrat M, et al. If motivation was a key factor in aerobic performance in tropical climate? *Front Psychol* [Internet]. 2020;11:619198. Available from: <http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2020.619198>
- [21] Coudevylle GR, Sinnapah S, Robin N, Collado A, Hue O. Conventional and alternative strategies to cope with the subtropical climate of Tokyo 2020: Impacts on psychological

factors of performance. *Front Psychol* [Internet]. 2019;10:1279. Available from: <http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01279>

[22] de Korte JQ, Bongers CCWG, Hopman MTE, Eijsvogels TMH. Exercise performance and thermoregulatory responses of elite athletes exercising in the heat: Outcomes of the Thermo Tokyo study. *Sports Med* [Internet]. 2021;51(11):2423–36. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-021-01530-w>

[23] Dweck CS. Motivational processes affecting learning. *Am Psychol* [Internet]. 1986;41(10):1040–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1037//0003-066x.41.10.1040>

[24] Ebi KL, Capon A, Berry P, Broderick C, de Dear R, Havenith G, et al. Hot weather and heat extremes: health risks. *Lancet* [Internet]. 2021;398(10301):698–708. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01208-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01208-3)

[25] Eccles JS, Wigfield A. Motivational beliefs, values, and goals. *Annu Rev Psychol* [Internet]. 2002;53(1):109–32. Available from: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135153>

[26] Elia M. Energy Metabolism: Tissue Determinants and Cellular Corollaries In: Kinney JM, Tucker HN, editors. *Organ and tissue contribution to metabolic weight*. New York: Raven Press Ltd; 1999. pp. 61–79.

[27] Ernwein V, Keller D. Exercice musculaire et environnement thermique chaud : impacts sur les processus décisionnels chez des sportifs de grands terrains. *Sci Sports* [Internet]. 1998;13(2):93–6. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/s0765-1597\(97\)86908-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0765-1597(97)86908-0)

[28] Foster J, Hodder SG, Lloyd AB, Havenith G. Individual responses to heat stress: Implications for hyperthermia and physical work capacity. *Front Physiol* [Internet]. 2020;11:541483. Available from: <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2020.541483>

[29] Gaoua N. Cognitive function in hot environments: a question of methodology. *Scand. J Med Sci Sports* [Internet]. 2010;20:60–70. Available from: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01210.x>

[30] Gaoua N, Grantham J, Racinais S, El Massioui F. Sensory displeasure reduces complex cognitive performance in the heat. *J Environ Psychol* [Internet]. 2012;32(2):158–63. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvp.2012.01.002>

[31] Gaoua N, Herrera CP, Périard JD, El Massioui F, Racinais S. Effect of passive hyperthermia on working memory resources during simple and complex cognitive tasks. *Front Psychol*. 2018;8.

[32] Gaoua N, Racinais S, Grantham J, El Massioui F. Alterations in cognitive performance during passive hyperthermia are task dependent. *Int J Hyperthermia* [Internet]. 2011;27(1):1–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.3109/02656736.2010.516305>

[33] Gasparetto T, Nessler C. Diverse effects of thermal conditions on performance of marathon runners. *Front Psychol* [Internet]. 2020;11:1438. Available from: <http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01438>

- [34] Hancock P, Vasmatazidis I. Effects of heat stress on cognitive performance: The current state of knowledge. *International Journal of Hyperthermia* [Internet]. 2003;19:355–72. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/0265673021000054630>
- [35] Hermesh H, Shiloh R, Epstein Y, Manaim H, Weizman A, Munitz H. Heat intolerance in patients with chronic schizophrenia maintained with antipsychotic drugs. *Am J Psychiatry* [Internet]. 2000;157(8):1327–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1176/appi.ajp.157.8.1327>
- [36] Hue O. The challenge of performing aerobic exercise in tropical environments: applied knowledge and perspectives. *Int J Sports Physiol Perform* [Internet]. 2011;6(4):443–54. Available from: <http://dx.doi.org/10.1123/ijsp.6.4.443>
- [37] Jay O. Unravelling the true influences of fitness and sex on sweating during exercise: Connections. *Exp Physiol* [Internet]. 2014;99(10):1265–6. Available from: <http://dx.doi.org/10.1113/expphysiol.2014.080994>
- [38] Jay O, Broderick C, Smallcombe J. The New Sports Medicine Australia (SMA) Extreme Heat Policy. *Sports Medicine Australia* [Internet]. 2021. Available from: <https://sma.org.au/sma-site-content/uploads/2021/02/SMA-Extreme-Heat-Policy-2021-Final.pdf>
- [39] Johnson RF, Kobrick JL. *Psychological Aspects of Military Performance in Hot Environments*. 2001
- [40] Keller D, Blind P, Keller M, Pajot P, Bury M. Exposition à un environnement chaud et performance en tir à la carabine. *Sci Sports* [Internet]. 2004;19(1):48–50. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/s0765-1597\(03\)00159-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0765-1597(03)00159-x)
- [41] Kukla A. Foundations of an attributional theory of performance. *Psychol Rev* [Internet]. 1972;79(6):454–70. Available from: <http://dx.doi.org/10.1037/h0033494>
- [42] LeBlanc J, Ducharme MB, Pasto L, Thompson M. Response to thermal stress and personality. *Physiol Behav* [Internet]. 2003;80(1):69–74. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/s0031-9384\(03\)00225-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0031-9384(03)00225-7)
- [43] Marino FE, Mbambo Z, Kortekaas E, Wilson G, Lambert MI, Noakes TD, et al. Advantages of smaller body mass during distance running in warm, humid environments. *Pflugers Arch* [Internet]. 2000;441(2–3):359–67. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s004240000432>
- [44] Matsumoto J, Fujibe F, Takahashi H. Urban climate in the Tokyo metropolitan area in Japan. *J Environ Sci (China)* [Internet]. 2017;59:54–62. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jes.2017.04.012>
- [45] Miller-Rushing AJ, Primack RB, Phillips N, Kaufmann RK. Effects of warming temperatures on winning times in the Boston marathon. *PLoS One* [Internet]. 2012;7(9):e43579. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0043579>

- [46] Nicholls J. The competitive ethos and democratic education. Cambridge, MA: Harvard University Press; 1989.
- [47] Pageaux B. The psychobiological model of endurance performance: an effort-based decision-making theory to explain self-paced endurance performance. *Sports Med* [Internet]. 2014;44(9):1319–20. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-014-0198-2>
- [48] Paré M, Bouchard J-P. Psychologie du sport : une psychologue aux Jeux Olympiques (1re partie). *Ann Med Psychol (Paris)* [Internet]. 2021;179(9):844–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.amp.2021.09.013>
- [49] Paré M, Bouchard J-P. Psychologie du sport : une psychologue aux Jeux olympiques (2e partie). *Ann Med Psychol (Paris)* [Internet]. 2021;179(10):959–62. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.amp.2021.10.009>
- [50] Paré M, Bouchard J-P. Psychologie du sport : une psychologue aux Jeux Olympiques (3e partie). *Ann Med Psychol (Paris)* [Internet]. 2022;180(1):89–92. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.amp.2021.11.003>
- [51] Parsons IT, Stacey MJ, Woods DR. Heat adaptation in military personnel: Mitigating risk, maximizing performance. *Front Physiol* [Internet]. 2019;10:1485. Available from: <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2019.01485>
- [52] Racinais S, Gaoua N, Grantham J. Hyperthermia impairs short-term memory and peripheral motor drive transmission: Passive hyperthermia alters neuromuscular and cognitive functions. *J Physiol* [Internet]. 2008;586(19):4751–62. Available from: <http://dx.doi.org/10.1113/jphysiol.2008.157420>
- [53] Riera F, Trong TT, Sinnapah S, Hue O. Physical and perceptual cooling with beverages to increase cycle performance in a tropical climate. *PLoS One* [Internet]. 2014;9(8):e103718. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0103718>
- [54] Ricquier D. Fundamental mechanisms of thermogenesis. *C R Biol* [Internet]. 2006;329(8):578–86; discussion 653-5. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.crvi.2005.10.010>
- [55] Rivolier J. Facteurs humains et situations extrêmes. Paris : Elsevier-Masson, Collection Médecine et psychothérapie ; 1992.
- [56] Robin N, Coudeville GR, Hue O. Attentional processes and performance in hot humid or dry environments: review, applied recommendation and new research directions. *Mov sport sci* [Internet]. 2021;(112):41–51. Available from: <http://dx.doi.org/10.1051/sm/2021002>
- [57] Rolland J-P. Références. In: *L'évaluation de la personnalité*. Mardaga; 2004. p. 219–31.
- [58] Scherr J, Wolfarth B, Christle JW, Pressler A, Wagenpfeil S, Halle M. Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2013;113(1):147–55. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-012-2421-x>

- [59] Shiloh R, Weizman A, Epstein Y, Rosenberg SL, Valevski A, Dorfman-Etrog P, et al. Abnormal thermoregulation in drug-free male schizophrenia patients. *Eur Neuropsychopharmacol* [Internet]. 2001;11(4):285–8. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/s0924-977x\(01\)00096-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0924-977x(01)00096-7)
- [60] Tucker R, Rauch L, Harley YXR, Noakes TD. Impaired exercise performance in the heat is associated with an anticipatory reduction in skeletal muscle recruitment. *Pflugers Arch* [Internet]. 2004;448(4):422–30. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00424-004-1267-4>
- [61] Vasmatazidis I, Schlegel R, Hancock P. An investigation of heat stress effects on time sharing performance. *Ergonomics* [Internet]. 2002;45:218–39. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/00140130210121941>
- [62] Vida S. Chaleur accablante et santé mentale : vulnérabilité des personnes avec troubles mentaux. *Sante Ment Que* [Internet]. 2012;36(2):97–121. Available from: <http://dx.doi.org/10.7202/1008592ar>
- [63] Voltaire B, Berthouze-Aranda S, Hue O. Influence of a hot/wet environment on exercise performance in natives to tropical climate. *J Sports Med Phys Fitness*. 2003;43(3):306–11.
- [64] Wickham KA, McCarthy DG, Spriet LL, Cheung SS. Sex differences in the physiological responses to exercise-induced dehydration: consequences and mechanisms. *J Appl Physiol* [Internet]. 2021;131(2):504–10. Available from: <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00266.2021>
- [65] Yoshida A, Yasuda R, Kinoshita S. Mobile observation of air temperature and humidity distributions under summer sea breezes in the Central Area of Osaka City. *Atmosphere (Basel)* [Internet]. 2020;11(11):1234. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/atmos11111234>
- [66] Zhang S, Meng G, Wang Y, Li J. Study of the relationships between weather conditions and the marathon race, and of meteorotropic effects on distance runners. *Int J Biometeorol* [Internet]. 1992;36(2):63–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/bf01208915>