



HAL
open science

Comment lutter contre les effets négatifs de la fatigue mentale : une revue narrative

Thomas Jacquet, Bénédicte Poulin-Charronnat, Romuald Lepers

► To cite this version:

Thomas Jacquet, Bénédicte Poulin-Charronnat, Romuald Lepers. Comment lutter contre les effets négatifs de la fatigue mentale : une revue narrative. *Movement & Sport Sciences - Science & Motricité*, 2023, 120, pp.67-81. 10.1051/sm/2022026 . hal-04301452

HAL Id: hal-04301452

<https://hal.science/hal-04301452v1>

Submitted on 23 Nov 2023

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.

Comment lutter contre les effets négatifs de la fatigue mentale : une revue narrative

Thomas Jacquet^{1,*}, Bénédicte Poulin-Charronnat², et Romuald Lepers¹

¹ CAPS, Inserm U1093, Université de Bourgogne, Faculté des sciences du sport, UFR STAPS, BP 27877, 21000 Dijon, France

² LEAD – CNRS UMR5022, Université de Bourgogne, pôle AAFE, 11 Esplanade Erasme, 21000 Dijon, France

Résumé – La fatigue mentale est un phénomène physiologique qui induit une altération des performances cognitives et physiques. De nombreuses études ont été conduites ces dernières années afin de savoir comment prévenir ou limiter et/ou compenser les effets délétères liés à la fatigue mentale. L'objectif de cette revue narrative de la littérature est de proposer une synthèse de tous les travaux réalisés jusqu'alors. Une grande disparité sur les méthodes employées est à noter que ce soit concernant les stratégies utilisées (bioactives versus non bioactives) ou les moments d'intervention (avant, pendant ou après la réalisation d'une tâche mentalement fatigante). La caféine, qui est la substance la plus étudiée, semble particulièrement efficace pour lutter contre la fatigue mentale avec des effets bénéfiques sur des marqueurs subjectifs, physiologiques ou comportementaux. D'autres stratégies comme l'utilisation de créatine, l'écoute de musique ou la pratique d'une activité physique semblent également prometteuses. Les effets bénéfiques des différentes stratégies ont été attribués à leur effet positif sur la motivation et/ou leur effet stimulant sur le système dopaminergique. De futures études restent cependant nécessaires afin de mieux comprendre les mécanismes à l'origine des effets bénéfiques des différentes stratégies proposées.

Mots clés : fatigue cognitive, tâche cognitive prolongée, compensation, performances cognitives, performances physiques

Abstract – **How to overcome the negative effects of mental fatigue: a narrative review.** Mental fatigue is a physiological phenomenon that induces an impairment of cognitive and physical performances. Many studies have been conducted in recent years to determine how to prevent and/or limit and/or compensate for the deleterious effects of mental fatigue. The objective of this narrative review of the literature is to propose a synthesis of all the work carried out. A large disparity in the methods used should be noted, whether concerning the strategies used (bioactive versus non-bioactive) or the timing of intervention (before, during or after the performance of a mentally fatiguing task). Caffeine, the most studied substance, seems to be particularly effective in overcoming mental fatigue with beneficial effects on subjective, physiological or behavioral markers. Other strategies, such as using creatine, listening to music, or physical activity, also seem promising. The beneficial effects of the different methods have been attributed to their positive impact on motivation and/or their stimulating effect on the dopaminergic system. However, future studies are still necessary to further evidence the mechanisms underlying the beneficial effects of the different strategies proposed.

Key words: cognitive fatigue, prolonged cognitive task, compensation, cognitive performances, physical performances

1 Introduction

La fatigue est aujourd'hui un phénomène de plus en plus présent dans notre société. Une étude récente conduite sur la population de la ville de Lausanne a mis en évidence que 21,9 % de la population souffrait de fatigue

(Galland-Decker, Marques-Vidal, & Vollenweider, 2019). On retrouve ce symptôme dans de nombreuses pathologies comme les cancers (Chang, Hwang, Feuerman, & Kasimis, 2000), la maladie de Parkinson (Stocchi *et al.*, 2014), les traumatismes crâniens (Cantor, Gordon, & Gumber, 2013), ou encore la COVID-19 (del Rio & Malani, 2020). La fatigue est définie comme une faiblesse ou un épuisement extrême et persistant pouvant être d'origine mentale et/ou physique (Dittner *et al.*, 2004). Dans cette revue, nous nous concentrerons sur la composante mentale

* Auteur de correspondance : CAPS, Inserm U1093, Université Bourgogne-Franche-Comté, I3M, 64 rue de Sully, 21000 Dijon, France. thomas.jacquet@u-bourgogne.fr

de la fatigue (parfois également appelée « fatigue cognitive »), définie comme un état psychobiologique induit par la réalisation d'une tâche cognitive prolongée et/ou intense, caractérisé par une sensation subjective d'épuisement et de manque d'énergie (Boksem & Tops, 2008 ; Rozand & Lepers, 2017).

L'identification de la présence de fatigue mentale est un enjeu majeur dans les études traitant de cette thématique. La majorité des études utilise des questionnaires et/ou des échelles subjectives afin de mettre en évidence la présence de fatigue mentale. L'échelle la plus utilisée est l'échelle visuelle analogique (EVA) qui a d'ailleurs été reconnue comme étant un « gold standard » pour évaluer la fatigue mentale (Smith, Chai, Nguyen, Marcora, & Coutts 2019). Cette échelle présente cependant quelques limites car elle n'est pas assez sensible pour dissocier fatigue mentale et somnolence (LaChapelle & Finlayson, 2009). Afin de pouvoir attester de façon plus objective et plus fiable de la présence de fatigue mentale, différentes mesures physiologiques ont été utilisées comme l'électrocardiographie (ECG : Mascord & Heath, 1992), l'oculométrie (Martins & Carvalho, 2015) ou encore l'électroencéphalographie (EEG : Lal & Craig, 2001). L'EEG, qui consiste à enregistrer l'activité électrique cérébrale, est une méthode reconnue pour mettre en évidence la présence de fatigue mentale (Lal & Craig, 2001). Les études utilisant l'EEG ont montré une modulation de l'activité cérébrale en présence de fatigue mentale avec une augmentation des ondes cérébrales thêta sur l'ensemble du scalp et des ondes alpha dans les régions centrales et pariétales. Dans une récente méta-analyse, Tran, Craig, Craig, Chai, et Nguyen (2020) ont indiqué que les ondes thêta étaient un marqueur robuste de fatigue mentale, tandis que l'augmentation des ondes alpha était un marqueur moins fiable, à cause d'une variabilité individuelle plus importante. Les mesures de l'activité oculaire ont été également largement étudiées dans le cadre de la fatigue mentale. Avec la fatigue mentale, une augmentation du nombre de clignements des yeux et une augmentation du diamètre pupillaire sont classiquement observées (Herlambang, Taatgen, & Cnossen, 2019). Bien que largement étudiés, ces marqueurs objectifs restent encore discutés, et ce sont souvent les performances comportementales qui sont évaluées pour attester de la présence de fatigue mentale.

Les effets négatifs de la fatigue mentale sur les performances cognitives et physiques sont nombreux. Concernant les performances cognitives, il a été montré que la fatigue mentale induisait une altération de l'attention (Boksem, Meijman, & Lorist, 2005), de la régulation des émotions (Grillon, Quispe-Escudero, Mathur, & Ernst, 2015), de la prise de décision (Guo *et al.*, 2018) et des fonctions exécutives (*e.g.*, capacité d'inhibition et de planification : Kato *et al.*, 2009 ; Lorist *et al.*, 2000). Concernant les performances physiques, on observe une altération des capacités d'endurance musculaire et cardiorespiratoire, une altération du contrôle moteur et un impact négatif sur certains gestes techniques dans les activités sportives, en football par exemple (pour

revue : Pageaux & Lepers, 2018 ; Rozand & Lepers, 2017). Ces altérations cognitives et physiques peuvent avoir des répercussions importantes sur les activités de la vie quotidienne avec, par exemple, une augmentation des risques d'accident de la route (Dignes, 1995), des erreurs médicales (Tawfik *et al.*, 2018), ou encore une baisse de la productivité chez les employés (Ricci, Chee, Lorandeanu, & Berger, 2007).

Pour mieux comprendre les altérations des performances cognitives et/ou physiques à la suite de l'instauration de fatigue mentale, plusieurs modèles ont été proposés : le modèle du coût/bénéfice de Boksem et Tops (2008), le modèle du contrôle motivationnel de Hockey (2010), ou encore le modèle de la double régulation proposé par Ishii, Tanaka, et Watanabe (2014). Même si chaque modèle possède ses spécificités, ils s'accordent tous sur le fait que la sensation de fatigue mentale, et la dégradation des performances qui en découle, sont liées à une modulation de l'activité des aires préfrontales, notamment du cortex cingulaire antérieur et de l'insula. L'importance de la motivation sur les performances, en présence de fatigue mentale, est aussi un point central dans les modèles proposés (Herlambang *et al.*, 2019). D'après un modèle développé par Smith *et al.* (2018), un effort mental soutenu entraînerait une augmentation du taux d'adénosine cérébrale provoquant une augmentation de la perception de l'effort. En parallèle, du fait de la colocalisation des récepteurs A2A de l'adénosine et des récepteurs D2 de la dopamine, une diminution de la sécrétion de dopamine est observée, responsable d'une baisse de la motivation. La baisse de la motivation et l'augmentation de l'effort perçu diminueraient la quantité de ressources investie dans la tâche en cours de réalisation, et entraînerait ainsi un déclin des performances. Un modèle récemment développé par André *et al.* (2019) attribue l'altération des performances en présence de fatigue mentale à la production de métabolites (*e.g.*, l'adénosine).

Bien que les corrélats neurophysiologiques à l'origine de la fatigue mentale restent encore à éclaircir, des études ont été conduites afin de prévenir, limiter ou contrecarrer les effets de la fatigue mentale sur les performances cognitives et/ou physiques. Cette thématique de recherche revêt un intérêt croissant avec un nombre de publications en augmentation ces dernières années (Fig. 1). Une revue systématique de la littérature est parue sur ce sujet très récemment (Proost *et al.*, 2022). L'objectif de notre article est de mettre en avant la grande diversité des méthodes utilisées pour lutter contre la fatigue mentale que ce soit au niveau de la stratégie (bioactive *versus* non bioactive) ou du moment de l'intervention (avant, pendant ou après l'instauration de fatigue mentale). Dans cette revue de littérature nous ne prendrons en compte que les études ayant proposé des tâches cognitives ayant une durée égale ou supérieure à 30 minutes pour induire de la fatigue mentale. Ainsi les études traitant du phénomène d'égo-déplétion, définie comme une réduction de la capacité ou de la volonté du soi à s'engager dans une action volontaire causée par un

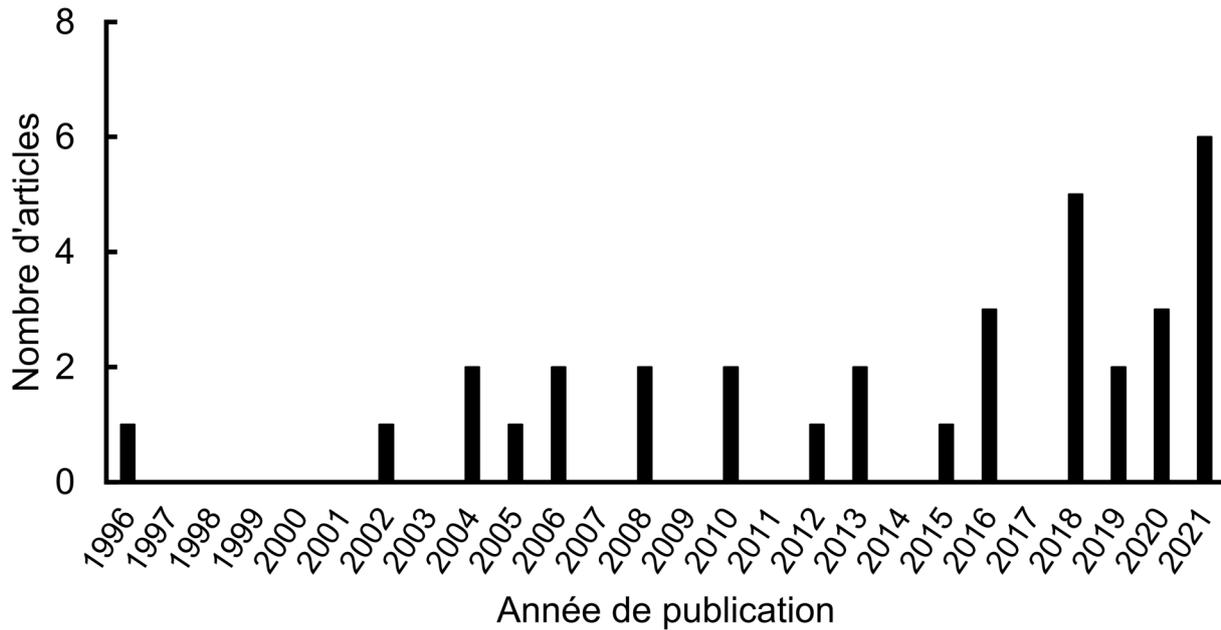


Fig. 1. Nombre d'articles ($n = 34$) s'intéressant aux stratégies de compensation de la fatigue mentale selon leur année de publication. Les articles inclus dans ce graphique sont ceux inclus dans la présente revue.

précédent exercice de la volonté (Baumeister *et al.*, 1998), ne seront pas incluses même si des effets similaires sur les performances sont observés (Brown *et al.*, 2019 ; Giboin & Wolff, 2019).

2 Les différents types de stratégies pour contrer la fatigue mentale

2.1 Les stratégies bioactives

Le premier type de stratégie regroupe les stratégies dites « bioactives », c'est-à-dire qui utilisent, comme leur nom l'indique, des composés bioactifs. Les composés bioactifs sont des composés essentiels ou non essentiels (par exemple, des vitamines ou des polyphénols) présents dans la nature, faisant partie de la chaîne alimentaire et dont on peut démontrer qu'ils ont un effet sur la santé humaine (Biesalski *et al.*, 2009).

La première étude ayant utilisé une substance bioactive pour combattre les effets de la fatigue mentale s'est intéressée à l'essence de poulet (Nagai *et al.*, 1996). Cette substance, bien que très populaire dans les pays asiatiques, a été inventée en Europe au début du XIX^e siècle. L'essence de poulet, qui est obtenue après la cuisson du poulet à la vapeur, est un concentré de peptides (*e.g.*, carnosine, anserine) connu pour ses effets bénéfiques sur la fatigue physique (Huang *et al.*, 2014) ou l'amélioration des fonctions cognitives (Toh, Wong, Fam, & Kim, 2019). Les effets bénéfiques de l'essence de poulet pour lutter contre la fatigue ont été confirmés dans une étude ultérieure réalisée par Yamano *et al.* (2013). Une deuxième substance, peu répandue dans les pays européens mais assez populaire en Asie et en Amérique du Nord, employée

avec succès pour lutter contre la fatigue mentale est le ginseng. Reay, Kennedy, et Scholey, (2005, 2006) ont montré à deux reprises que le ginseng combiné, ou non avec du glucose, pourrait permettre de réduire de façon significative la sensation de fatigue mentale et les effets négatifs associés.

Cependant, la substance la plus couramment utilisée pour lutter contre la fatigue mentale est la caféine. Des différences existent cependant concernant sa modalité d'administration. Certaines études proposent l'ingestion orale de caféine seule (Azevedo, Silva-Cavalcante, Gualano, Lima-Silva, & Bertuzzi, 2016), d'autres la combinent avec du glucose (Ataka *et al.*, 2008 ; Kennedy & Scholey, 2004). L'administration orale de caféine pouvant avoir des effets secondaires délétères (*e.g.*, insomnie, troubles digestifs, anxiété), certaines études ont proposé des rinçages de bouche avec une solution de caféine combinée à du sucre qui évitaient l'ingestion de la caféine (van Cutsem, van de Pauw, Marcora, Meeusen, & Roelands, 2018). Le glucose seul, en rinçage de bouche, s'est également montré efficace pour réduire les effets liés à la fatigue mentale (Bailey *et al.*, 2021 ; Brietzke *et al.*, 2020). Enfin d'autres substances bioactives, comme le guarana (Kennedy *et al.*, 2008), les flavanols de cacao (Scholey *et al.*, 2010), ou le modafinil (un psychostimulant : Rattray, Martin, Hewitt, Cooper, & McDonald, 2019) ont chacune fait l'objet d'études et se sont montrées efficaces pour réduire l'impact de la fatigue mentale sur des marqueurs subjectifs (*e.g.*, baisse de la charge mentale liée à une tâche cognitivement coûteuse, augmentation de la sensation de fatigue mentale reportée sur une EVA moins importante) et comportementaux (*e.g.*, amélioration des performances de calcul ou d'attention).

2.2 Les stratégies non bioactives

Certaines études ont utilisé des stratégies dites « non bioactives » pour lutter contre la fatigue mentale limitant ainsi les effets secondaires liés à l'ingestion de substances bioactives. Une des premières stratégies non bioactives qui a été évaluée est la réalisation d'une pause pendant ou après une tâche mentalement fatigante, une stratégie simple pour lutter contre la fatigue mentale (Rivers, 1896). Bien que cette stratégie semble efficace, une étude récente de Jacquet, Poulin-Charronnat, Bard, et Lepers, (2021) montre que même si une pause de 20 minutes permet de réduire la fatigue mentale subjective (reportée sur une EVA), les marqueurs objectifs (*e.g.*, EEG et tâche motrice) indiquent, au contraire, que les participants n'ont toujours pas récupéré. En effet, 20 minutes après la tâche mentalement fatigante, les performances sur une tâche de pointage étaient encore plus altérées, et les ondes cérébrales thêta et alpha continuaient à augmenter. Par ailleurs, la réalisation d'une pause passive avec vue sur la nature, semble plus efficace qu'une pause avec une vue sur des bureaux, montrant ainsi l'importance de l'environnement dans lequel la pause est réalisée (Tanaka, Yamada, Nakamura, Ishii, & Watanabe, 2013).

Trois études ont utilisé la stimulation transcrânienne à courant continu (tDCS) comme stratégie non bioactive pour lutter contre la fatigue mentale. Cette technique, couramment employée en psychiatrie, est une technique de stimulation cérébrale superficielle non invasive, qui permet de moduler l'excitabilité neuronale au moyen d'un faible champ électrique délivré via des électrodes disposées sur le scalp. Une étude a montré que stimuler au niveau du cortex temporal n'avait aucun effet sur la fatigue mentale (Penna *et al.*, 2021). En revanche, en stimulant le cortex préfrontal dorsolatéral gauche, Linnhoff *et al.* (2021) ont montré que la tDCS permettait de lutter objectivement contre la fatigue mentale (*e.g.*, une augmentation moindre des ondes cérébrales alpha) mais que cela n'avait pas d'effet sur des marqueurs subjectifs (sensation subjective d'épuisement mental). Les résultats concernant l'efficacité de la tDCS sont contradictoires et mériteraient des études supplémentaires.

La présentation de stimuli auditifs peut également permettre d'agir positivement sur la fatigue mentale. Guo, Ren, Wang, & et Zhu, (2015) ont montré que l'écoute de musique relaxante au cours d'une tâche cognitivement coûteuse était efficace pour limiter l'instauration de fatigue mentale. L'écoute de musique permet non seulement de réduire l'augmentation subjective de fatigue mais également de lutter contre la dégradation des performances en les maintenant à leur niveau initial. Des effets bénéfiques ont également été reportés lors d'écoute de musique agréable après la réalisation d'une tâche cognitivement fatigante (Jacquet, Poulin-Charronnat, Bard, Perra, & Lepers, 2021). L'utilisation de battements binauraux seuls, ou combinés avec un massage dans un fauteuil électrique, a également permis de lutter contre le déclin des performances cognitives en présence de fatigue mentale (Lim, Kim, Jeon, & Cho, 2018). D'autres

stimulations sensorielles peuvent également avoir une influence sur la fatigue mentale. Des stimuli olfactifs, comme la présentation d'odeurs naturelles (Kato, Endo, Kobayakawa, Kato, & Kitazaki, 2012 ; Saito *et al.*, 2018) ont été utilisés avec succès. Des stratégies plus étonnantes ont également montré des effets bénéfiques comme être plongé dans un bain chaud (Mizuno *et al.*, 2010), être placé proche d'un poêle à granulés (Tanaka, Yamada, Nakamura, & Watanabe, 2012) ou être stimulé magnétiquement sur des points d'acupuncture (Li, Jiao, Chen, & Wang, 2004). Récemment, plusieurs études ont montré que la pratique d'exercice physique, de type aérobie, permettait de lutter contre la fatigue mentale (Jacquet, Poulin-Charronnat, Bard, Perra *et al.*, 2021 ; Oberste *et al.*, 2021) alors que la pratique de la boxe durant 10 minutes ne semblait pas efficace (Scholz *et al.*, 2017). Dans la même étude, Scholz *et al.* (2017) ont également montré que la relaxation ne permettait pas de contrer les effets de fatigue mentale, contrairement à la méditation qui les réduisait de façon significative (Axelsen, Kirk, & Staiano, 2020). Une limite concernant la méditation est que cette dernière ne semble efficace que chez les personnes expertes mais pas chez les novices (Axelsen *et al.*, 2020). Enfin, l'augmentation de la motivation à l'aide de récompenses financières ou d'arrêt plus précoce en cas de bonnes performances permet également de limiter les effets délétères liés à la fatigue mentale (Boksem, Meijman, & Lorist, 2006 ; Herlambang *et al.*, 2021).

3 Les moments d'intervention pour lutter contre la fatigue mentale

Le moment choisi pour intervenir revêt une importance toute particulière. Si l'intervention a lieu avant la réalisation d'une tâche mentalement fatigante, l'objectif sera de prévenir l'instauration de fatigue mentale. Si l'intervention est réalisée au cours d'une tâche mentalement fatigante, l'objectif sera de limiter ou de lutter contre l'instauration de fatigue mentale. Enfin, une intervention réalisée après l'instauration de fatigue mentale aura pour objectif d'améliorer la récupération « mentale ».

3.1 Interventions avant l'instauration de fatigue mentale

Les premières études réalisées pour contrecarrer les effets de la fatigue mentale ont proposé des interventions pour prévenir l'instauration de cette dernière en agissant avant la réalisation d'une tâche mentalement fatigante, toutes utilisant des stratégies bioactives (Tab. 1). Les substances utilisées étaient l'essence de poulet (Nagai *et al.*, 1996 ; Yamano *et al.*, 2013), la créatine (van Cutsem *et al.*, 2020 ; Watanabe, Kato, & Kato, 2002), la caféine, combiné ou non avec du glucose (Kennedy & Scholey, 2004 ; van Cutsem *et al.*, 2018), le guarana (Kennedy *et al.*, 2008), le ginseng (Reay *et al.*, 2005, 2006), les flavanols de cacao (Scholey *et al.*, 2010) ou le modafinil (Rattray *et al.*, 2019). Parmi la grande diversité des stratégies utilisées, nous pouvons dissocier deux types d'intervention : les

Tableau 1. Résumé des publications ayant proposé des stratégies de compensation de la fatigue mentale sur les performances cognitives avant ou après et durant la réalisation d'une tâche cognitivement coûteuse.

| Auteurs | Intervention | Efficacité | | |
|---|--|--|--|---|
| | | Subjective | Physiologique | Comportementale |
| <i>Intervention chronique avant l'instauration de fatigue mentale</i> | | | | |
| Nagai <i>et al.</i> (1996) | Prise pendant 7 jours Essence de poulet (140 ml/j) Placebo | Oui Réduit ↑ fatigue | Non mesurée | Oui ↓ Erreur de calcul |
| Watanabe <i>et al.</i> (2002) | Prise pendant 5 jours Créatine (8 g/j) Placebo | Non mesurée | Oui Réduit ↑ l'oxygénation cérébrale | Oui ↑ performance de calcul lors de la seconde partie |
| Yamano <i>et al.</i> (2013) | Prise pendant 4 semaines Essence de poulet (70 ml/j) Placebo | Oui ↓ de la fatigue | Non mesurée | Oui ↑ performances d'attention |
| van Cutsem <i>et al.</i> (2020) | Prise pendant 7 jours Créatine (1 g créatine/ tablette) Placebo | Non Aucun effet sur la fatigue subjective | Non Aucun effet sur la fréquence cardiaque et le glucose sanguin | Oui ↓ altération des performances à la tâche de Stroop |
| <i>Intervention aiguë avant l'instauration de fatigue mentale</i> | | | | |
| Kennedy et Scholey (2004) | Étude 1 : 38 mg caféine + 68 g glucose 46 mg caféine + 68 g glucose Placebo Étude 2 : 33 mg caféine + 60 g glucose Placebo | Oui Réduit ↑ fatigue | Non mesurée | Oui ↑ performances d'attention ↑ précision lors de la tâche de calcul (qu'avec 46 mg caféine + 68 g glucose) |
| Reay <i>et al.</i> (2005) | 200 mg de Panax ginseng 400 mg de Panax ginseng Placebo | Oui Réduit ↑ fatigue | Non mesurée | Oui (que pour 200 mg de Panax ginseng) ↑ performance de calcul |
| Reay <i>et al.</i> (2006) | Ginseng Glucose Ginseng + glucose Placebo | Oui Réduit ↑ fatigue | Non mesurée | Oui ↑ performance de calcul pour dose |
| Kennedy <i>et al.</i> (2008) | Comprimés de vitamines/ minéraux/guarana Comprimés placebo | Oui Réduit ↑ fatigue | Non mesurée | Oui ↑ performance d'attention |
| Scholey <i>et al.</i> (2010) | Flavanols de cacao (520 mg) Flavanols de cacao (994 mg) Flavanols de cacao (46 mg ; placebo) | Oui Réduit ↑ fatigue (que pour 520 mg de flavanols de cacao) | Non mesurée | Oui ↑ performance de calcul |
| Franco-Alvarenga <i>et al.</i> (2019) | Caféine (5 mg/kg) Placebo Contrôle (sans placebo) Contrôle (sans fatigue mentale) | Oui Réduit ↑ fatigue ↑ de la motivation | Oui ↓ ondes thêta (pour caféine et placebo) | Oui Pas d'effet sur une tâche d'attention |
| <i>Intervention chronique avant et durant l'instauration de fatigue mentale</i> | | | | |
| Ataka <i>et al.</i> (2008) | Caféine (25 mg) D-ribose (250 mg) Placebo | Non Aucun effet sur les échelles subjectives | Non mesurée | Oui ↓ altération de l'attention sélective et mémoire de travail spatiale (que pour la caféine) |
| <i>Intervention aiguë avant et durant l'instauration de fatigue mentale</i> | | | | |
| van Cutsem <i>et al.</i> (2018) | Rinçage de bouche avec solution de caféine (0,3 g) et maltodextrine (1,6 g) Rinçage de bouche avec solution placebo | Oui Réduit ↑ fatigue | Oui ↑ amplitude de la P2 | Oui ↓ altération des performances à la tâche de Stroop Maintien des performances à la tâche de Flanker |
| Ratray <i>et al.</i> (2019) | Prise de modafinil (400 mg) Placebo | Non Aucun effet sur la fatigue subjective | Non mesurée | Oui Maintien des performances à la tâche de Stroop |

interventions chroniques sur une période allant de 5 jours (Watanabe *et al.*, 2002) à 4 semaines (Yamano *et al.*, 2013) avant la session expérimentale induisant de la fatigue mentale, et les interventions aiguës dans les heures ou les minutes précédant la réalisation d'une tâche cognitivement coûteuse. Afin de maximiser les effets bénéfiques des stratégies de compensation proposées, deux études ont essayé d'intervenir non seulement en amont de l'instauration de la fatigue mentale mais également au cours de la tâche mentalement fatigante (Ataka *et al.*, 2008 ; van Cutsem *et al.*, 2018). van Cutsem *et al.* (2018) ont mis en évidence qu'un rinçage de bouche avec une solution combinant caféine et glucose, 5 minutes avant la réalisation d'une tâche mentalement fatigante puis au cours de cette dernière, avait des effets bénéfiques sur la sensation subjective de fatigue mentale et permettait de maintenir les performances cognitives.

De façon générale, l'ensemble des stratégies, chroniques ou aiguës, proposées avant l'instauration de fatigue mentale se sont avérées efficaces. Des effets bénéfiques ont été observés non seulement sur des marqueurs subjectifs de fatigue mentale mais également sur les performances cognitives et physiques. En revanche, très peu d'études se sont intéressées aux marqueurs physiologiques (Franco-Alvarenga *et al.*, 2019 ; van Cutsem *et al.*, 2018), de futurs travaux semblent donc nécessaires pour conclure quant à l'efficacité des stratégies intervenant avant la réalisation d'une tâche mentalement fatigante sur ces marqueurs, notamment sur l'activité électrique cérébrale.

3.2 Interventions au cours d'une tâche mentalement fatigante

La seconde possibilité est d'intervenir lors de la réalisation d'une tâche cognitivement coûteuse afin de limiter l'instauration de fatigue mentale (Tab. 2). Les stratégies bioactives utilisées au cours d'une tâche mentalement fatigante sont assez peu nombreuses puisque seuls des rinçages buccaux avec une solution de caféine et de glucose (van Cutsem *et al.*, 2018) ou avec une solution contenant du glucose seul (Bailey *et al.*, 2021 ; Brietzke *et al.*, 2020) ont été utilisés. Elles se sont avérées efficaces puisque toutes les études réalisées reportent des effets bénéfiques sur les marqueurs subjectifs, physiologiques et/ou comportementaux de fatigue mentale. Les stratégies non bioactives proposées lors de la réalisation d'une tâche cognitivement coûteuse sont, elles, plus nombreuses. Deux études ont utilisé la tDCS pour lutter contre l'instauration de fatigue mentale (Linnhoff *et al.*, 2021 ; Penna *et al.*, 2021) mais sans réel succès. Certains auteurs ont, quant à eux, manipulé la motivation à l'aide d'une rétribution financière ou d'un arrêt précoce de la tâche cognitivement coûteuse en cas de bonnes performances (Boksem *et al.*, 2006 ; Hopstaken, van der Linden, Bakker, Kompier, & Leung, 2016) pour contrer, avec succès, le déclin des performances associé à la fatigue mentale. Bien que n'ayant aucun effet sur les marqueurs subjectifs de fatigue

mentale, la présentation d'odeurs au cours d'une tâche cognitivement coûteuse s'est avérée efficace pour atténuer le déclin des performances cognitives (Kato *et al.*, 2012 ; Saito *et al.*, 2018). Il a également été montré que l'écoute de musique relaxante au cours d'une tâche cognitivement coûteuse permettait de réduire l'instauration de fatigue mentale (Guo *et al.*, 2015). Bien que la musique puisse avoir des effets bénéfiques (Rauscher, Shaw, & Ky, 1995), certaines études montrent cependant que l'écoute de musique au cours d'une tâche cognitive peut aussi avoir un effet distracteur et induire une baisse des performances (Dobbs, Furnham, & McClelland 2011). Ainsi, tenter de lutter contre la fatigue mentale en proposant des stratégies d'intervention au cours d'une tâche cognitivement coûteuse pourrait induire une dégradation des performances. Dans ce contexte, il est important de prendre en compte les possibles effets secondaires liés à l'utilisation de stratégies de compensation au cours d'une tâche cognitivement coûteuse.

3.3 Interventions après l'instauration de fatigue mentale

Plusieurs études ont proposé d'intervenir après l'instauration de la fatigue mentale avec pour objectif d'améliorer la récupération (Tab. 3). Les effets d'une simple pause pour lutter contre la fatigue mentale ont été étudiés lors de plusieurs expérimentations (Jacquet, Poulin-Charronnat, Bard, & Lepers, 2021 ; Rivers, 1896 ; Smith *et al.*, 2019). Il semblerait qu'une simple pause ait des effets limités car 30 minutes ne suffisent pas pour annihiler totalement les effets de fatigue mentale (Smith *et al.*, 2019). Rivers (1896) a même montré que des effets pouvaient persister sur un exercice de calcul après 60 minutes de pause. Dans ce contexte, plusieurs études ont été conduites afin d'améliorer la récupération après la réalisation d'une tâche mentalement fatigante. Une seule étude a utilisé une substance bioactive pour améliorer la récupération après l'instauration de fatigue mentale. Brietzke *et al.* (2020) ont montré que le rinçage de bouche avec une solution contenant du glucose permettait de limiter les altérations de performances sur une tâche d'endurance réalisée après une tâche mentalement fatigante (temps d'endurance sur un exercice incrémental de cyclisme).

Concernant les stratégies non bioactives, la majorité s'est avérée efficace que ce soient les bains d'eau chaude (Mizuno *et al.*, 2010), l'exposition à un poêle à granulés (Tanaka *et al.*, 2012), la pratique d'activité physique aérobie (Jacquet, Poulin-Charronnat, Bard, Perra *et al.*, 2021), la méditation (Axelsen *et al.*, 2020) ou encore l'écoute de musique (Jacquet, Poulin-Charronnat, Bard, Perra *et al.*, 2021). Cependant, Loch *et al.* (2020) ont montré que 20 minutes de micro-sieste (*i.e.*, *powernap*), de respiration systématique ou de respiration systématique combinée à de l'imagerie mentale ne permettaient pas d'améliorer la récupération après une tâche mentalement fatigante.

Tableau 2. Résumé des publications ayant proposé des stratégies de compensation de la fatigue mentale sur les performances cognitives durant la réalisation d'une tâche cognitivement coûteuse.

| Auteurs | Intervention | Efficacité | | |
|--|--|--|---|--|
| | | Subjective | Physiologique | Comportementale |
| <i>Intervention durant l'instauration de fatigue mentale</i> | | | | |
| Li <i>et al.</i> (2004) | Stimulation magnétique sur des points d'acuponcture Contrôle (stimulation hors points d'acuponcture) | Oui Réduit ↑ de certains symptômes de fatigue | Oui ↑ amplitude de la P3 | Oui Évite ↓ des performances de vigilance |
| Boksem <i>et al.</i> (2006) | Récompense financière | Non mesurée | Oui ↑ amplitude de la P3 et de la CNV | Oui Améliore les performances de vigilance |
| Kato <i>et al.</i> (2012) | Odeur intermittente (citrale, verte et mentholée) Placebo | Non Aucun effet sur la fatigue subjective | Oui ↑ amplitude de la P300 | Oui ↓ altération des capacités d'inhibition |
| Guo <i>et al.</i> (2015) | Musique relaxante Pas de musique | Oui ↑ niveau d'alerte | Oui ↑ amplitude de la P3 lors de la tâche d'inhibition (essais Go et NoGo) | Oui Évite la dégradation des performances d'inhibition |
| Hopstaken <i>et al.</i> (2016) | Augmentation de la motivation (fin rapide si ↑ des performances) Pas de manipulation de la motivation | Oui ↓ de la fatigue | Oui ↑ amplitude de la P300 ↑ diamètre pupillaire | Oui ↑ performances d'attention |
| Saito <i>et al.</i> (2018) | Odeur de miel et de fleurs Placebo | Non Aucun effet sur les échelles subjectives | Non | Oui ↓ altération des capacités d'inhibition |
| Bailey <i>et al.</i> (2021) | Rinçage de bouche aux carbohydrates Placebo | Oui Réduit ↑ de la fatigue | Oui Maintien l'amplitude des potentiels moteurs évoqués (↓ avec la fatigue mentale) | Non mesurées |
| Herlambang <i>et al.</i> (2021) | Motivation intrinsèque élevée Motivation intrinsèque faible | Oui ↓ effort mental, de la frustration avec motivation élevée | Oui Réduit ↑ de la distraction visuelle ↓ du diamètre pupillaire | Oui Meilleures performances avec motivation élevée |
| Linnhoff <i>et al.</i> (2021) | tDCS sur le DLPFC gauche tDCS « fantôme » | Non Aucun effet sur les échelles subjectives | Oui Réduit ↑ des ondes alpha en POz Réduit ↓ des ondes « gating » sensorielles | Non mesurée |
| Penna <i>et al.</i> (2021) | tDCS sur le cortex temporal tDCS « fantôme » | Non Pas d'effet sur ↑ de la fatigue Pas d'effet de fatigue mentale sur l'effort perçu | Non mesurée | Non Pas d'effet sur ↓ des performances au Stroop |

CNV: variation négative conditionnelle; tDCS: stimulation transcrânienne à courant continu; DLPFC: cortex préfrontal dorsolatéral.

Tableau 3. Résumé des publications ayant proposé des stratégies de compensation de la fatigue mentale sur les performances cognitives après la réalisation d'une tâche cognitivement coûteuse.

| Auteurs | Intervention | Efficacité | | |
|---|--|--|---|---|
| | | Subjective | Physiologique | Comportementale |
| <i>Intervention après l'instauration de fatigue mentale</i> | | | | |
| Mizuno <i>et al.</i> (2010) | Durant 10 min Baignade en eau douce Baignade dans une eau « normale » | Non Aucun effet sur la fatigue subjective | Non Aucun effet sur le volume de flux sanguin | Oui ↑ performance d'attention sélective et mémoire spéciale |
| Tanaka <i>et al.</i> (2012) | Durant 30 min : dans une pièce avec un poêle à granulés sans un poêle à granulés (Contrôle) | Oui Réduit ↑ la fatigue | Oui ↓ activité sympathique ↑ activité parasympathique | Oui ↓ altération de l'attention sélective et mémoire de travail spatiale |
| Tanaka <i>et al.</i> (2013) | Durant 30 min : dans une pièce avec vue sur la nature sans vue sur la nature (Contrôle) | Non Aucun effet sur la fatigue subjective | Oui ↓ de l'indice de forme d'onde-1 évalué par pléthysmographie accélérée | Oui ↓ des erreurs lors de la tâche cognitive |
| Lim <i>et al.</i> (2018) | Durant 20 min : Relaxation Massage mécanique Massage mécanique et battements binauraux | Non mesurées | Oui (pour massage mécanique + battements binauraux) ↓ indice EEG thêta/beta | Oui ↑ performance d'attention et de recherche visuelle ↑ performance de mémoire verbal à court et à long terme ↑ performance de mémoire non verbal à long terme |
| Scholz <i>et al.</i> (2017) | Durant 10 min Bo xe Relaxation Pause « classique » Pas de pause | Non Aucun effet sur la fatigue subjective | Non Pas d'effet sur la P300 | Non Aucun effet sur les performances |
| Axelsen <i>et al.</i> (2020) | Durant 12 min Méditation (novice) Méditation (expert) Battements binauraux Contrôle | Non mesurées | Non mesurée | Oui Maintien les performances lors de la tâche de SART (essais NoGo) pour les battements binauraux et réduit l'altération des performances pour la méditation |
| Loch <i>et al.</i> (2020) | Durant 20 min Sieste Exercice de respiration Exercice de respiration + imagerie Contrôle (lecture de bandes dessinées) | Non Aucun effet sur la fatigue subjective | Non mesurée | Non Aucun effet sur les performances attentionnelles |
| Oberste <i>et al.</i> (2021) | Durant 30 min : Exercice aérobic à intensité modérée (cyclisme) Stretching membres inférieurs Contrôle (documentaire) | Oui (pour exercice aérobic) Améliore la sensation de fatigue et humeur | Non mesurée | Oui (pour exercice aérobic) Améliore la récupération de la flexibilité cognitive |

SART : sustained attention to response task.

4 Compensation des effets de la fatigue mentale sur les performances cognitives

Les premières études qui se sont intéressées à la compensation de la fatigue mentale ont tenté de lutter contre le déclin des performances cognitives induit par la réalisation d'une tâche cognitivement coûteuse. Nagai *et al.* (1996) ont montré que l'essence de poulet permettait de limiter les effets néfastes de la fatigue mentale sur les fonctions exécutives, évaluées par une tâche de calcul mental. Des effets bénéfiques similaires semblent également être observés avec la consommation de flavanols de cacao (Scholey *et al.*, 2010), de caféine combinée avec du glucose (Kennedy & Scholey, 2004), de ginseng (Reay *et al.*, 2005, 2006) et de modafinil (Ratray *et al.*, 2019).

L'attention est une fonction cognitive particulièrement impactée par la fatigue mentale (Smith *et al.*, 2019). De nombreuses études ont donc proposé des stratégies afin de lutter contre le déclin des performances attentionnelles en présence de fatigue mentale. Il a été montré que l'utilisation d'essence de poulet (Watanabe *et al.*, 2002), de guarana (Kennedy *et al.*, 2008), de créatine (van Cutsem *et al.*, 2020) ou de caféine associée à du glucose en ingestion (Ataka *et al.*, 2008 ; Kennedy & Scholey, 2004) ou en rinçage buccal (van Cutsem *et al.*, 2018) permettait de lutter contre le déclin de l'attention avec la fatigue mentale. Des stratégies non bioactives, comme la stimulation magnétique sur des points d'acuponcture (Li *et al.*, 2004), la présence d'un poêle à granulés (Tanaka *et al.*, 2012), les bains d'eau chaude (Mizuno *et al.*, 2010), se sont également avérées efficaces pour contrer les effets de la fatigue mentale sur les capacités attentionnelles. Enfin, certaines études ont également montré que la présentation d'odeurs (Saito *et al.*, 2018), l'écoute de musique (Guo *et al.*, 2015), les battements binauraux ou la méditation (Axelsen *et al.*, 2020) étaient efficaces pour lutter contre l'altération des capacités d'inhibition en présence de fatigue mentale.

Même si de nombreuses stratégies proposées se sont avérées efficaces pour lutter contre les effets de la fatigue mentale sur les performances cognitives, notons tout de même que la pratique de boxe ou de la relaxation (Scholz *et al.*, 2017), la sieste, les exercices de respiration combinés ou non à de l'imagerie mentale (Loch *et al.*, 2020) se sont avérés inefficaces.

5 Compensation des effets de la fatigue mentale sur les performances physiques

La majorité des études visant à compenser les effets délétères de la fatigue mentale sur les performances physiques s'est intéressée aux performances en endurance (Tab. 4). La première a été conduite par Azevedo *et al.* (2016). Lors de cette étude, les auteurs ont observé que la prise de caféine (5 mg/kg) avant la réalisation d'une tâche cognitivement fatigante permettait d'annihiler la baisse de la vigueur et permettait d'éviter la réduction subséquente de la performance lors d'un test d'endurance en

cyclisme réalisé à 80 % de la puissance maximale aérobie. Des effets bénéfiques similaires de la caféine (5 mg/kg) sur des marqueurs subjectifs de fatigue mentale et sur des performances en endurance, toujours en cyclisme, ont également été reportés par Franco-Alvarenga *et al.* (2019). En parallèle de la caféine, d'autres stratégies comme la consommation de créatine (van Cutsem *et al.*, 2020), de modafinil (Ratray *et al.*, 2019), le rinçage de bouche avec une solution contenant du glucose (Brietzke *et al.*, 2020) se sont également avérées efficaces pour lutter contre le déclin des performances en endurance après la réalisation d'une tâche cognitivement coûteuse, sans avoir d'effet positif sur la sensation subjective de fatigue mentale. En revanche, une étude récente utilisant la tDCS n'a pas montré d'effet bénéfique de cette technique sur les performances en endurance lors d'un exercice de natation (Penna *et al.*, 2021). Cette étude doit cependant être interprétée avec précaution, car les auteurs n'ont pas observé d'effets significatifs de la fatigue mentale sur l'exercice de natation. Dans ce contexte, il est donc difficile de savoir si la tDCS est efficace pour lutter contre la dégradation des performances liées aux effets de la fatigue mentale.

En présence de fatigue mentale, plusieurs études ont également observé une altération du contrôle moteur (Rozand *et al.*, 2015, 2016). Dans une étude récente, évaluant le contrôle moteur à l'aide d'une tâche de pointage consistant à atteindre une cible affichée sur un écran le plus rapidement possible, Jacquet, Poulin-Charronnat, Bard, et Lepers (2021) ont montré que les effets délétères de la fatigue mentale sur le contrôle moteur étaient toujours présents, même 20 minutes après la réalisation de la tâche mentalement fatigante. Pour limiter ces effets délétères, plusieurs stratégies ont été proposées. Rozand *et al.* (2016) ont, par exemple, mis en évidence que lorsque la fatigue mentale était induite par une tâche d'imagerie motrice, la réalisation fréquente de mouvements réels au cours de la tâche d'imagerie permettait de lutter contre le déclin des performances de contrôle moteur lors d'une tâche subséquente. Récemment, Jacquet, Poulin-Charronnat, *et al.* (2021) ont montré que l'écoute de musique agréable permettait de maintenir les performances de contrôle moteur après la réalisation d'une tâche mentalement fatigante. Dans cette même étude, les auteurs ont également mis en évidence que la pratique d'une activité physique de type aérobie (cyclisme) à intensité modérée permettait aussi de lutter contre les effets de la fatigue mentale.

6 Mécanismes explicatifs

6.1 Explications comportementales

La plupart des stratégies de compensation utilisées pour lutter contre les effets de la fatigue mentale ont des effets bénéfiques sur les performances cognitives et/ou physiques en général, c'est-à-dire même sans présence de fatigue mentale. La caféine qui est, comme indiqué par cette revue, la stratégie la plus couramment utilisée pour

Tableau 4. Résumé des publications ayant étudié l'efficacité de différentes stratégies de compensation de la fatigue mentale sur les performances physiques.

| Auteurs | Intervention | Efficacité | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Subjective | Physiologique | Comportementale |
| <i>Intervention chronique avant l'instauration de fatigue mentale</i> | | | | |
| van Cutsem <i>et al.</i> (2020) | Prise pendant 7 jours Créatine (1 g créatine/ tablette) Placebo | Non Aucun effet sur la fatigue subjective | Non Aucun effet sur la fréquence cardiaque et le glucose sanguin | Oui ↑ temps d'endurance pour la main non dominante (« handgrip ») |
| <i>Intervention aiguë avant l'instauration de fatigue mentale</i> | | | | |
| Azevedo <i>et al.</i> (2016) | Caféine (5 mg/kg) Placebo | Oui Maintien du niveau de vigueur | Non mesurée | Oui ↑ temps d'endurance |
| Franco-Alvarenga <i>et al.</i> (2019) | Caféine (5 mg/kg) Placebo Contrôle (sans placebo) Contrôle (sans fatigue mentale) | Oui Réduit ↑ la fatigue ↑ de la motivation | Oui ↓ ondes thêta (pour caféine et placebo) | Oui Maintien les performances en endurance ↑ puissance développée |
| Ratray <i>et al.</i> (2019) | Prise de modafinil (400 mg) Placebo | Non Aucun effet sur la fatigue subjective | Non mesurée | Oui ↑ temps d'endurance (si retrait du sujet 10) |
| <i>Intervention aiguë durant l'instauration de fatigue mentale</i> | | | | |
| Rozand <i>et al.</i> (2016) | Imagerie motrice Pas d'imagerie motrice (Contrôle) | Non Aucun effet sur la fatigue subjective | Non mesurée | Oui Évite la dégradation du contrôle moteur |
| Penna <i>et al.</i> (2021) | tDCS sur le cortex temporal tDCS « fantôme » | Non Aucun effet sur la fatigue subjective | Non mesurée | Non Pas d'effet sur les performances |
| <i>Intervention aiguë avant et durant l'instauration de fatigue mentale</i> | | | | |
| Brietzke <i>et al.</i> (2020) | Rinçage de bouche aux carbohydrates Placebo Groupe sans fatigue mentale | Non Aucun effet sur la fatigue subjective | Oui ↑ activité du cortex préfrontal (pour carbohydrates et placebo par rapport au groupe sans fatigue mentale) | Oui ↑ temps d'endurance ↑ pic de puissance |
| <i>Intervention après l'instauration de fatigue mentale</i> | | | | |
| Jacquet, Poulin- Charronnat, <i>et al.</i> (2021) | Durant 15 min : Exercice aérobie à intensité modérée (cyclisme) Écoute de musique agréable | Oui ↓ de fatigue | Non ↑ des ondes thêta et alpha | Oui Évite la dégradation du contrôle moteur |

tDCS: stimulation transcrânienne à courant continu.

lutter contre la fatigue mentale a largement été employée pour améliorer les performances dans un contexte plus global. Des études ont mis en évidence de nombreux effets bénéfiques de la caféine sur les fonctions cognitives, comme l'attention (Einöther & Giesbrecht, 2013), la mémoire de travail (Smith *et al.*, 1994) ou le contrôle exécutif (Brunyé, Mahoney, Lieberman, Giles, & Taylor, 2010). Une amélioration des performances physiques est également observée après l'ingestion de caféine (Doherty & Smith, 2004), et est associée à une réduction de l'effort perçu pour réaliser l'exercice (Doherty & Smith, 2005). Cette

diminution de l'effort perçu pourrait ainsi inciter les personnes mentalement fatiguées à engager un effort plus important pour réaliser une tâche, limitant ainsi la dégradation des performances.

Des études ont mis en évidence que d'autres stratégies comme l'utilisation de créatine (Avgerinos, Spyrou, Bougioukas, & Kapogiannis, 2018), de guarana (Konstantinos & Heun, 2019), d'essence de poulet (Toh *et al.*, 2019), la pratique d'une activité physique (Brisswalter, Collardeau, & René, 2012), l'écoute de musique (Schellenberg, 2012) ou de sons binauraux

(Kirk, Wieghorst, & Staiano, 2019) permettaient également d'améliorer les performances cognitives (*e.g.*, amélioration de l'attention, de la mémoire à court terme, de l'intelligence/raisonnement). Ces effets bénéfiques de la créatine (Bemben & Lamont, 2012), de l'essence de poulet (Huang *et al.*, 2014), du modafinil (Jacobs & Bell, 2004) ou des stratégies non bioactives comme l'écoute de musique (Terry *et al.*, 2019) ou la tDCS (Machado *et al.*, 2019) ont aussi été reportés sur les performances physiques (*e.g.*, amélioration des capacités d'endurance, de production de force). Par ailleurs, la motivation est un facteur déterminant de la performance, qu'elle soit cognitive ou physique. Dès 1914, Thorndike (1914) indiquait que la capacité à maintenir des performances au cours d'une tâche cognitivement coûteuse dépendrait de la motivation à réaliser la tâche. Une motivation importante permet en effet d'allouer plus de ressources à la réalisation d'une tâche, permettant ainsi d'augmenter les performances. Même si en présence de fatigue mentale une tâche devient de plus en plus difficile à effectuer, une motivation importante (induite par une récompense financière par exemple) permet d'augmenter les ressources allouées à la tâche et d'expliquer un maintien ou un rebond des performances dans la poursuite de la tâche (Herlambang *et al.*, 2021 ; Hopstaken *et al.*, 2016).

Ainsi l'efficacité des stratégies précédemment citées pour compenser les effets délétères de la fatigue mentale sur les performances peut être, au moins en partie, expliquée par leurs effets bénéfiques généraux sur les performances cognitives et physiques, et ce indépendamment de la présence de fatigue mentale.

6.2 Explications neurophysiologiques

L'efficacité des stratégies précédemment exposées peut également être attribuée à des mécanismes neurophysiologiques. Bien que l'origine neurobiologique exacte de la fatigue mentale reste encore mal connue, il semble que plusieurs neurotransmetteurs comme l'adénosine ou la dopamine soient impliqués. Lors de la réalisation d'une tâche mentalement fatigante, une augmentation de la concentration en adénosine a été observée (Lovatt *et al.*, 2012). Du fait de la colocalisation des récepteurs A2A de l'adénosine et des récepteurs D2 de la dopamine, la fatigue mentale entraînerait simultanément une augmentation du taux d'adénosine et une diminution de la sécrétion de dopamine (Schiffmann, Fisone, Moresco, Cunha, & Ferré, 2007). Selon le modèle proposé par Martin *et al.* (2018), l'augmentation de la concentration en adénosine entraîne une augmentation de la perception de l'effort, et la diminution de concentration en dopamine induit une baisse de la motivation. Ces deux phénomènes conduiraient à la baisse des performances en présence de fatigue mentale.

De nombreuses études se sont intéressées aux modulations des catécholamines à la suite de prise de caféine (pour revue: Alasmari, 2020). On observe que la caféine permet de bloquer les récepteurs A2A de l'adénosine (Huang *et al.*, 2005 ; Pinto Freitas *et al.*, 2016), empêchant ainsi l'adénosine de se fixer sur ces récepteurs et induisant un maintien du signal dopaminergique. Des effets directs

de la consommation de caféine ont également été mis en évidence sur le système dopaminergique avec une augmentation de la disponibilité des récepteurs 2 et 3 de la dopamine dans le striatum (Volkow *et al.*, 2015). Ainsi la caféine permet de lutter contre l'augmentation du taux d'adénosine et la diminution de la sécrétion de dopamine en présence de fatigue mentale. Concernant la prise de modafinil (*i.e.*, un psychostimulant), une étude a mis en évidence une augmentation de la sécrétion de dopamine au niveau cérébral (Volkow *et al.*, 2009) à la suite d'une consommation de doses similaires à celles utilisées dans l'étude de Rattray *et al.* (2019). Cet effet positif du modafinil sur la sécrétion de dopamine pourrait expliquer son efficacité pour lutter contre la fatigue mentale.

Les stratégies bioactives ne sont pas les seules à agir sur les concentrations en catécholamines. Des études ont mis en évidence une augmentation du taux de dopamine à la suite de la réalisation d'un exercice physique aérobie (Hattori, Naoi, & Nishino, 1994), de méditation (Kjaer *et al.*, 2002), d'écoute de musique (Salimpoor, Benovoy, Larcher, Dagher, & Zatorre, 2011) ou de sons binauraux (Reedijk, Bolders, & Hommel, 2013). Cette augmentation de dopamine permettrait de lutter contre la baisse de la motivation et donc de maintenir le niveau des performances cognitives et/ou physiques malgré la réalisation d'une tâche cognitivement coûteuse.

Des modulations au niveau de l'activité des aires corticales sont également observées en présence de fatigue mentale. Les effets bénéfiques de la présentation d'odeurs peuvent être expliqués grâce à la connexion entre le système olfactif et l'amygdale. Cette dernière joue un rôle important dans le processus d'évaluation de la valeur des récompenses associées à l'effort ; celle-ci se projette ensuite vers le cortex cingulaire antérieur pour la prise de décision (basée sur l'évaluation des récompenses et des coûts potentiels).

7 Conclusion

La fatigue mentale peut altérer les performances cognitives mais aussi les performances physiques. De nombreuses études ont proposé des stratégies pour lutter contre les effets délétères associés à la fatigue mentale. La grande majorité des stratégies proposées (bioactives ou non) s'est avérée efficace pour réduire l'impact de la fatigue mentale que ce soit sur les performances cognitives ou physiques. En parallèle, une amélioration sur les marqueurs subjectifs de fatigue mentale a également été observée. Les marqueurs objectifs, notamment physiologiques, n'ont été que peu étudiés et il est difficile de tirer des conclusions quant à l'efficacité des différentes stratégies utilisées sur ces marqueurs. La stratégie la plus employée, et avec succès, pour lutter contre la fatigue mentale est une substance bioactive: la caféine. Il est intéressant de noter que dans le contexte de la pratique d'activité physique, des exercices de type aérobie à intensité modérée semblent également être un moyen efficace pour lutter contre l'instauration de la fatigue mentale, même si ses effets n'ont été étudiés que lors de deux études. La combinaison de plusieurs stratégies

pourrait également s'avérer judicieuse afin de maximiser les effets positifs observés. De futures études sont nécessaires afin de mieux appréhender les mécanismes neurophysiologiques sous-jacents aux stratégies de compensation de la fatigue mentale.

Remerciements. Ce travail a été soutenu par l'Agence Nationale de la Recherche Française (Projet ANR MENTALIST – ANR-20-CE37-0022).

Références

- Alasmari, F. (2020). Caffeine induces neurobehavioral effects through modulating neurotransmitters. *Saudi Pharmaceutical Journal*, *28*(4), 445–451. <https://doi.org/10.1016/J.JSPS.2020.02.005>.
- André, N., Audiffren, M., & Baumeister, R. F. (2019). An integrative model of effortful control. *Frontiers in Systems Neuroscience*, *13*. <https://doi.org/10.3389/FNSYS.2019.00079>.
- Ataka, S., Tanaka, M., Nozaki, S., Mizuma, H., Mizuno, K., Tahara, T., Sugino, T., Shirai, T., Kajimoto, Y., Kuratsune, H., Kajimoto, O., & Watanabe, Y. (2008). Effects of oral administration of caffeine and D-ribose on mental fatigue. *Nutrition*, *24*(3), 233–238. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2007.12.002>.
- Avgerinos, K. I., Spyrou, N., Bougioukas, K. I., & Kapogiannis, D. (2018). Effects of creatine supplementation on cognitive function of healthy individuals: a systematic review of randomized controlled trials HHS Public Access. *Experimental Gerontology*, *108*, 166–173. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2018.04.013>.
- Axelsen, J. L., Kirk, U., & Staiano, W. (2020). On-the-spot binaural beats and mindfulness reduces the effect of mental fatigue. *Journal of Cognitive Enhancement*, *4*(1), 31–39. <https://doi.org/10.1007/S41465-019-00162-3>.
- Azevedo, R., Silva-Cavalcante, M. D., Gualano, B., Lima-Silva, A. E., & Bertuzzi, R. (2016). Effects of caffeine ingestion on endurance performance in mentally fatigued individuals. *European Journal of Applied Physiology*, *116*, 2293–2303. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3483-y>.
- Bailey, S. P., Harris, G. K., Lewis, K., Llewellyn, T. A., Watkins, R., Weaver, M. A., Roelands, B., van Cutsem, J., & Folger, S. F. (2021). Impact of a carbohydrate mouth rinse on corticomotor excitability after mental fatigue in healthy college-aged subjects. *Brain Sciences*, *11*(8), 972. <https://doi.org/10.3390/brainsci11080972>.
- Baumeister, R. F., Bratslavsky, E., Muraven, M., & Tice, D. M. (1998). Ego depletion: Is the active self a limited resource? *Journal of Personality and Social Psychology*, *74*(5), 1252–1265. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.74.5.1252>.
- Bemben, M. G., & Lamont, H. S. (2012). Creatine supplementation and exercise performance. *Sports Medicine*, *35*(2), 107–125. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535020-00002>.
- Biesalski, H.-K., Dragsted, L. O., Elmadafa, I., Grossklaus, R., Müller, M. E., Schrenk, D., Walter, P., & Weber, P. (2009). Bioactive compounds: definition and assessment of activity. *Nutrition*, *25*, 1202–1205. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2009.04.023>.
- Boksem, M. A. S., Meijman, T. F., & Lorist, M. M. (2005). Effects of mental fatigue on attention: an ERP study. *Cognitive Brain Research*, *25*(1), 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.04.011>.
- Boksem, M. A. S., Meijman, T. F., & Lorist, M. M. (2006). Mental fatigue, motivation and action monitoring. *Biological Psychology*, *72*(2), 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.08.007>.
- Boksem, M. A. S., & Tops, M. (2008). Mental fatigue: costs and benefits. *Brain Research Reviews*, *59*(1), 125–139. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2008.07.001>.
- Brietzke, C., Estevão Franco-Alvarenga, P., Canestri, R., Fagundes Goethel, M., Vínicius, Í., de Salles Painelli, V., Santos, T. M., Hettinga, F. J., & Oliveira Pires, F. (2020). Carbohydrate mouth rinse mitigates mental fatigue effects on maximal incremental test performance, but not in cortical alterations. *Brain Science*, *10*(8), 493. <https://doi.org/10.3390/brainsci10080493>.
- Brisswalter, J., Collardeau, M., & René, A. (2012). Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. *Sports Medicine*, *32*(9), 555–566. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232090-00002>.
- Brown, D. M. Y., Graham, J. D., Innes, K. I., Harris, S., Flemington, A., & Bray, S. R. (2019). Effects of prior cognitive exertion on physical performance: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, *50*(3), 497–529. <https://doi.org/10.1007/S40279-019-01204-8>.
- Brunyé, T. T., Mahoney, C. R., Lieberman, H. R., Giles, G. E., & Taylor, H. A. (2010). Acute caffeine consumption enhances the executive control of visual attention in habitual consumers. *Brain and Cognition*, *74*(3), 186–192. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2010.07.006>.
- Cantor, J. B., Gordon, W., & Gumber, S. (2013). What is post TBI fatigue? *NeuroRehabilitation*, *32*(4), 875–883. <https://doi.org/10.3233/nre-130912>.
- Chang, V. T., Hwang, S. S., Feuerman, M., & Kasimis, B. S. (2000). Symptom and quality of life survey of medical oncology patients at a veterans affairs medical center a role for symptom assessment. *Cancer*, *88*(5), 1175–1183. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0142\(20000301\)88:5<1175::aid-cncr30>3.0.co;2-n](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0142(20000301)88:5<1175::aid-cncr30>3.0.co;2-n).
- del Rio, C., & Malani, P. N. (2020). COVID-19-new insights on a rapidly changing epidemic. *JAMA*, *323*(14), 1339–1340. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.3072>.
- Dignes, D. F. (1995). An overview of sleepiness and accidents. *Journal of Sleep Research*, *4*, 4–14. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.1995.tb00220.x>.
- Dittner, A. J., Wessely, S. C., & Brown, R. G. (2004). The assessment of fatigue: A practical guide for clinicians and researchers. *Journal of Psychosomatic Research*, *56*(2), 157–170. [https://doi.org/10.1016/S0022-3999\(03\)00371-4](https://doi.org/10.1016/S0022-3999(03)00371-4).
- Dobbs, S., Furnham, A., & McClelland, A. (2011). The effect of background music and noise on the cognitive test performance of introverts and extraverts. *Applied Cognitive Psychology*, *25*(2), 307–313. <https://doi.org/10.1002/acp.1692>.
- Doherty, M., & Smith, P. M. (2004). Effects of caffeine ingestion on exercise testing: a meta-analysis. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, *14*(6), 626–646. <https://doi.org/10.1123/ijnsnem.14.6.626>.
- Doherty, M., & Smith, P. M. (2005). Effects of caffeine ingestion on rating of perceived exertion during and after exercise: a meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *15*(2), 69–78. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00445.x>.
- Einöther, S. J., & Giesbrecht, T. (2013). Caffeine as an attention enhancer: reviewing existing assumptions. *Psychopharmacology*, *225*(2), 251–274. <https://doi.org/10.1007/s00213-012-2917-4>.

- Franco-Alvarenga, P., Brietzke, C., Canestri, R., Fagundes Goethel, M., Hettinga, F., Santos, T. M., & Oliveira Pires, F. (2019). Caffeine improved cycling trial performance in mentally fatigued cyclists, regardless of alterations in prefrontal cortex activation. *Physiology & Behavior*, *204*, 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2019.02.009>.
- Galland-Decker, C., Marques-Vidal, P., & Vollenweider, P. (2019). Prevalence and factors associated with fatigue in the Lausanne middle-aged population: a population-based, cross-sectional survey. *BMJ Open*, *9*(8). <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-027070>.
- Giboin, L. S., & Wolff, W. (2019). The effect of ego depletion or mental fatigue on subsequent physical endurance performance: A meta-analysis. *Performance Enhancement and Health*, *7*(1–2). <https://doi.org/10.1016/J.PEH.2019.100150>.
- Grillon, C., Quispe-Escudero, D., Mathur, A., & Ernst, M. (2015). Mental fatigue impairs emotion regulation. *Emotion*, *15*(3), 383–389. <https://doi.org/10.1037/EMO0000058>.
- Guo, W., Ren, J., Wang, B., & Zhu, Q. (2015). Effects of relaxing music on mental fatigue induced by a continuous performance task: Behavioral and ERPs evidence. *PLoS One*, *10*(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136446>.
- Guo, Z., Chen, R., Liu, X., Zhao, G., Zheng, Y., Gong, M., & Zhang, J. (2018). The impairing effects of mental fatigue on response inhibition: an ERP study. *PLoS One*, *13*(6), e0198206. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198206>.
- Hattori, S., Naoi, M., & Nishino, H. (1994). Striatal dopamine turnover during treadmill running in the rat: relation to the speed of running. *Brain Research Bulletin*, *35*(1), 41–49. [https://doi.org/10.1016/0361-9230\(94\)90214-3](https://doi.org/10.1016/0361-9230(94)90214-3).
- Herlambang, M. B., Cnossen, F., & Taatgen, N. A. (2021). The effects of intrinsic motivation on mental fatigue. *PLoS One*, *16*(1), e0243754. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243754>.
- Herlambang, M. B., Taatgen, N. A., & Cnossen, F. (2019). The role of motivation as a factor in mental fatigue. *Human Factors*, *61*(7), 1171–1185. <https://doi.org/10.1177/0018720819828569>.
- Hockey, G. R. (2010). A motivational control theory of cognitive fatigue. *Cognitive Fatigue: Multidisciplinary Perspectives on Current Research and Future Applications*, 167–187. <https://doi.org/10.1037/12343-008>.
- Hopstaken, J. F., van der Linden, D., Bakker, A. B., Kompier, M. A. J., & Leung, Y. K. (2016). Shifts in attention during mental fatigue: evidence from subjective, behavioral, physiological, and eye-tracking data. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *42*(6), 878–889. <https://doi.org/10.1037/xhp0000189>.
- Huang, W.-C., Lin, C.-I., Chiu, C.-C., Lin, Y.-T., Huang, W.-K., Huang, H.-Y., & Huang, C.-C. (2014). Chicken essence improves exercise performance and ameliorates physical fatigue. *Nutrients*, *6*, 2681–2696. <https://doi.org/10.3390/nu6072681>.
- Huang, Z. L., Qu, W. M., Eguchi, N., Chen, J. F., Schwarzschild, M. A., Fredholm, B. B., Urade, Y., & Hayaishi, O. (2005). Adenosine A2A, but not A1, receptors mediate the arousal effect of caffeine. *Nature Neuroscience*, *8*(7), 858–859. <https://doi.org/10.1038/nn1491>.
- Ishii, A., Tanaka, M., & Watanabe, Y. (2014). Neural mechanisms of mental fatigue. *Reviews in the Neurosciences*, *25*(4), 469–479. <https://doi.org/10.1515/revneuro-2014-0028>.
- Jacobs, I., & Bell, D. G. (2004). Effects of acute modafinil ingestion on exercise time to exhaustion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *36*(6), 1078–1082. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000128146.12004.4f>.
- Jacquet, T., Poulin-Charronnat, B., Bard, P., & Lepers, R. (2021). Persistence of mental fatigue on motor control. *Frontiers in Psychology*, *11*, 588253. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.588253>.
- Jacquet, T., Poulin-Charronnat, B., Bard, P., Perra, J., & Lepers, R. (2021). Physical activity and music to counteract mental fatigue. *Neuroscience*, *478*, 75–88. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2021.09.019>.
- Kato, Y., Endo, H., & Kizuka, T. (2009). Mental fatigue and impaired response processes: event-related brain potentials in a Go/NoGo task. *International Journal of Psychophysiology*, *72*(2), 204–211. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.12.008>.
- Kato, Y., Endo, H., Kobayakawa, T., Kato, K., & Kitazaki, S. (2012). Effects of intermittent odours on cognitive-motor performance and brain functioning during mental fatigue. *Ergonomics*, *55*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1080/00140139.2011.633175>.
- Kennedy, D. O., Haskell, C. F., Robertson, B., Reay, J., Brewster-Maund, C., Luedemann, J., Maggini, S., Ruf, M., Zangara, A., & Scholey, A. B. (2008). Improved cognitive performance and mental fatigue following a multi-vitamin and mineral supplement with added guaraná (Paullinia cupana). *Appetite*, *50*(2–3), 506–513. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2007.10.007>.
- Kennedy, D. O., & Scholey, A. B. (2004). A glucose-caffeine “energy drink” ameliorates subjective and performance deficits during prolonged cognitive demand. *Appetite*, *42*, 331–333. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2004.03.001>.
- Kirk, U., Wieghorst, A., & Staiano, W. (2019). On-the-spot binaural beats and mindfulness reduces behavioral markers of mind wandering. *Journal of Cognitive Enhancement*, *3*, 186–192. <https://doi.org/10.1007/s41465-018-0114-z>.
- Kjaer, T. W., Bertelsen, C., Piccini, P., Brooks, D., Alving, J., & Lou, H. C. (2002). Increased dopamine tone during meditation-induced change of consciousness. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, *13*(2), 255–259. [https://doi.org/10.1016/S0926-6410\(01\)00106-9](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(01)00106-9).
- Konstantinos, F., & Heum, R. (2019). The effects of guarana (Paullinia cupana) supplementation on the cognitive performance of young healthy adults – a systematic review. *Global Psychiatry*, *2*(2), 171–182. <https://doi.org/10.2478/gp-2019-0015>.
- LaChapelle, D. L., & Finlayson, M. A. J. (2009). An evaluation of subjective and objective measures of fatigue in patients with brain injury and healthy controls. *Brain Injury*, *12*(8), 649–659. <https://doi.org/10.1080/026990598122214>.
- Lal, S. K., & Craig, A. (2001). A critical review of the psychophysiology of driver fatigue. *Biological Psychology*, *55*(3), 173–194. [https://doi.org/10.1016/S0301-0511\(00\)00085-5](https://doi.org/10.1016/S0301-0511(00)00085-5).
- Lim, J. H., Kim, H., Jeon, C., & Cho, S. (2018). The effects on mental fatigue and the cognitive function of mechanical massage and binaural beats (brain massage) provided by massage chairs. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, *32*, 32–38. <https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2018.04.008>.
- Linnhoff, S., Wolter-Weging, J., & Zaehle, T. (2021). Objective electrophysiological fatigability markers and their modulation through tDCS. *Clinical Neurophysiology*, *132*(7), 1721–1732. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2021.02.391>.
- Li, Z., Jiao, K., Chen, M., & Wang, C. (2004). Reducing the effects of driving fatigue with magnitopuncture stimulation. *Accident Analysis & Prevention*, *36*(4), 501–505. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(03\)00044-7](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(03)00044-7).

- Loch, F., Hof zum Berge, A., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M., & Kellmann, M. (2020). Acute effects of mental recovery strategies after a mentally fatiguing task. *Frontiers in Psychology, 11*, 558856. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.558856>.
- Lorist, M. M., Klein, M., Nieuwenhuis, S., Jong, R. de, Mulder, G., & Meijman, T. F. (2000). Mental fatigue and task control: Planning and preparation. *Psychophysiology, 37*(5), 614–625. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.3750614>.
- Lovatt, D., Xu, Q., Liu, W., Takano, T., Smith, N. A., Schnermann, J., Tieu, K., & Nedergaard, M. (2012). Neuronal adenosine release, and not astrocytic ATP release, mediates feedback inhibition of excitatory activity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 109*(16), 6265–6270. <https://doi.org/10.1073/pnas.1120997109>.
- Machado, D. G. da S., Unal, G., Andrade, S. M., Moreira, A., Altimari, L. R., Brunoni, A. R., Perrey, S., Mauger, A. R., Bikson, M., & Okano, A. H. (2019). Effect of transcranial direct current stimulation on exercise performance: a systematic review and meta-analysis. *Brain Stimulation: Basic, Translational, and Clinical Research in Neuromodulation, 12*(3), 593–605. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2018.12.227>.
- Martin, K., Meeusen, R., Thompson, K. G., Keegan, R., & Rattray, B. (2018). Mental fatigue impairs endurance performance: a physiological explanation. *Sports Medicine, 48*(9), 2041–2051. <https://doi.org/10.1007/S40279-018-0946-9>.
- Martins, R., & Carvalho, J. M. (2015). Eye blinking as an indicator of fatigue and mental load – a systematic review. In *Occupational Safety and Hygiene III – Selected Extended and Revised Contributions from the International Symposium on Safety and Hygiene* (pp. 231–235). CRC Press. <https://doi.org/doi:10.1201/b18042-48>.
- Mascord, D. J., & Heath, R. A. (1992). Behavioral and physiological indices of fatigue in a visual tracking task. *Journal of Safety Research, 23*(1), 19–25. [https://doi.org/10.1016/0022-4375\(92\)90036-9](https://doi.org/10.1016/0022-4375(92)90036-9).
- Mizuno, K., Tanaka, M., Tajima, K., Okada, N., Rokushima, K., & Watanabe, Y. (2010). Effects of mild-stream bathing on recovery from mental fatigue. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research, 16*(1), CR8–CR14. <http://www.medscimonit.com/abstract/index/idArt/878306>.
- Nagai, H., Harada, M., Nakagawa, M., Tanaka, T., Gunadi, B., Setiabudi, M. L., Uktolseja, J. L., & Miyata, Y. (1996). Effects of chicken extract on the recovery from fatigue caused by mental workload. *Applied Human Science, 15*(6), 281–286. <https://doi.org/10.2114/jpa.15.281>.
- Oberste, M., de Waal, P., Joisten, N., Walzik, D., Egbrinchoff, M., Javelle, F., Bloch, W., & Zimmer, P. (2021). Acute aerobic exercise to recover from mental exhaustion – a randomized controlled trial. *Physiology & Behavior, 241*, 113588. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2021.113588>.
- Pageaux, B., & Lepers, R. (2018). The effects of mental fatigue on sport-related performance. *Progress in Brain Research, 240*, 291–315. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2018.10.004>.
- Penna, E. M., Filho, E., Campos, B. T., Ferreira, R. M., Parma, J. O., Lage, G. M., Silveira Coswig, V., Wanner, S. P., & Sales Prado, L. (2021). No Effects of mental fatigue and cerebral stimulation on physical performance of master swimmers. *Frontiers in Psychology, 12*, 656499. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.656499>.
- Pinto Freitas, A. de, Dias Pinto Ferreira, D., Fernandes, A., Silva Martins, R., Pedro Peralva Borges-Martins, V., Figueiredo Sathler, M., Dos-Santos-Pereira, C., Paes-de-Carvalho, R., Giestal-de-Araujo, E., Augusto Melo Reis, R. de, & Celia Cussa Kubrusly, R. (2016). Caffeine alters glutamate-aspartate transporter function and expression in rat retina. *Neuroscience, 337*, 285–294. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.09.028>.
- Proost, M., Habay, J., de Wachter, J., de Pauw, K., Rattray, B., Meeusen, R., Roelands, B., & van Cutsem, J. (2022). How to tackle mental fatigue: A systematic review of potential countermeasures and their underlying mechanisms. *Sports Medicine, 52*(9), 2129–2158. <https://doi.org/10.1007/S40279-022-01678-Z>.
- Rattray, B., Martin, K., Hewitt, A., Cooper, G., & McDonald, W. (2019). Effect of acute modafinil ingestion on cognitive and physical performance following mental exertion. *Human Psychopharmacology: Clinical and Experimental, 34*(4), e2700. <https://doi.org/10.1002/hup.2700>.
- Rauscher, F. H., Shaw, G. L., & Ky, K. N. (1995). Listening to Mozart enhances spatial-temporal reasoning: Towards a neurophysiological basis. *Neuroscience Letters, 185*, 44–47. [https://doi.org/10.1016/0304-3940\(94\)11221-4](https://doi.org/10.1016/0304-3940(94)11221-4).
- Reay, J. L., Kennedy, D. O., & Scholey, A. B. (2005). Single doses of Panax ginseng (G115) reduce blood glucose levels and improve cognitive performance during sustained mental activity. *J Psychopharm Journal of Psychopharmacology, 19*(4), 357–365. <https://doi.org/10.1177/0269881105053286>.
- Reay, J. L., Kennedy, D. O., & Scholey, A. B. (2006). Effects of Panax ginseng, consumed with and without glucose, on blood glucose levels and cognitive performance during sustained “mentally demanding” tasks. *Journal of Psychopharmacology, 20*(6), 771–781. <https://doi.org/10.1177/0269881106061516>.
- Reedijk, S. A., Bolders, A., & Hommel, B. (2013). The impact of binaural beats on creativity. *Frontiers in Human Neuroscience, 7*, 786. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00786>.
- Ricci, J. A., Chee, E., Lorandean, A. L., & Berger, J. (2007). Fatigue in the U.S. workforce: prevalence and implications for lost productive work time. *Journal of Occupational and Environmental Medicine, 49*(1), 1–10. <https://doi.org/10.1097/01.jom.0000249782.60321.2a>.
- Rivers, W. H. R. (1896). On mental fatigue and recovery. *Journal of Mental Science, 42*(178), 525–530. <https://doi.org/10.1192/bjp.42.178.525>.
- Rozand, V., Lebon, F., Papaxanthis, C., & Lepers, R. (2015). Effect of mental fatigue on speed-accuracy trade-off. *Neuroscience, 297*, 219–230. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2015.03.066>.
- Rozand, V., Lebon, F., Stapley, P. J., Papaxanthis, C., & Lepers, R. (2016). A prolonged motor imagery session alter imagined and actual movement durations: Potential implications for neurorehabilitation. *Behavioural Brain Research, 297*, 67–75. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2015.09.036>.
- Rozand, V., & Lepers, R. (2017). Influence de la fatigue mentale sur les performances physiques. *Movement & Sport Sciences-Science & Motricité, 95*, 3–12. <https://doi.org/10.1051/sm/2015045>.
- Saito, N., Yamano, E., Ishii, A., Tanaka, M., Nakamura, J., & Watanabe, Y. (2018). Involvement of the olfactory system in the induction of anti-fatigue effects by odorants. *PLoS One, 13*(3), e0195263. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195263>.
- Salimpoor, V. N., Benovoy, M., Larcher, K., Dagher, A., & Zatorre, R. J. (2011). Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. *Nature Neuroscience, 14*(2), 257–262. <https://doi.org/10.1038/nn.2726>.
- Schellenberg, E. G. (2012). Cognitive performance after listening to music: a review of the Mozart effect. In *Music, Health, and Wellbeing*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199586974.003.0022>.

- Schiffmann, S. N., Fisone, G., Moresco, R., Cunha, R. A., & Ferré, S. (2007). Adenosine A2A receptors and basal ganglia physiology. *Progress in Neurobiology*, *83*(5), 277–292. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2007.05.001>.
- Scholey, A. B., French, S. J., Morris, P. J., Kennedy, D. O., Milne, A. L., & Haskell, C. F. (2010). Consumption of cocoa flavanols results in acute improvements in mood and cognitive performance during sustained mental effort. *Journal of Psychopharmacology*, *24*(10), 1505–1514. <https://doi.org/10.1177/0269881109106923>.
- Scholz, A., Ghadiri, A., Singh, U., Wendsche, J., Peters, T., & Schneider, S. (2017). Functional work breaks in a high-demanding work environment: an experimental field study. *Ergonomics*, *61*(2), 255–264. <https://doi.org/10.1080/00140139.2017.1349938>.
- Smith, A., Kendrick, A., Maben, A., & Salmon, J. (1994). Effects of breakfast and caffeine on cognitive performance, mood and cardiovascular functioning. *Appetite*, *22*(1), 39–55. <https://doi.org/10.1006/appe.1994.1004>.
- Smith, M. R., Chai, R., Nguyen, H. T., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2019). Comparing the effects of three cognitive tasks on indicators of mental fatigue. *The Journal of Psychology*, *153*(8), 759–783. <https://doi.org/10.1080/00223980.2019.1611530>.
- Smith, M. R., Thompson, C., Marcora, S. M., Skorski, S., Meyer, T., & Coutts, A. J. (2018). Mental fatigue and soccer: current knowledge and future directions. *Sports Medicine*, *48*(7), 1525–1532. <https://doi.org/10.1007/S40279-018-0908-2>.
- Stocchi, F., Abbruzzese, G., Ceravolo, R., Cortelli, P., D'Amelio, M., de Pandis, M. F., Fabbrini, G., Pacchetti, C., Pezzoli, G., Tessitore, A., Canesi, M., Iannaccone, C., & Zappia, M. (2014). Prevalence of fatigue in Parkinson disease and its clinical correlates. *Neurology*, *83*(3), 215–220. <https://doi.org/10.1212/wnl.0000000000000587>.
- Tanaka, M., Yamada, H., Nakamura, T., Ishii, A., & Watanabe, Y. (2013). Fatigue-recovering effect of a house designed with open space. *Explore*, *9*(2), 82–86. <https://doi.org/10.1016/j.explore.2012.12.006>.
- Tanaka, M., Yamada, H., Nakamura, T., & Watanabe, Y. (2012). Effects of pellet stove on recovery from mental fatigue. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, *18*(3), CR148–CR153. <https://doi.org/10.12659/msm.882519>.
- Tawfik, D. S., Profit, J., Morgenthaler, T. I., Satele, D. v., Sinsky, C. A., Dyrbye, L. N., Tutty, M. A., West, C. P., & Shanafelt, T. D. (2018). Physician burnout, well-being, and work unit safety grades in relationship to reported medical errors. *Mayo Clinic Proceedings*, *93*(11), 1571–1580. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2018.05.014>.
- Terry, P. C., Karageorghis, C. I., Curran, M. L., Martin, O. v., & Parsons-Smith, R. L. (2019). Effects of music in exercise and sport: a meta-analytic review. *Psychological Bulletin*. <https://doi.org/10.1037/bul0000216>.
- Thorndike, E. L. (1914). Mental work and fatigue and individual differences and their causes. (Educational). In *Educational Psychology* (Vol. 3). Teachers College. <https://doi.org/10.1037/13796-000>.
- Toh, D. W. K., Wong, C. H., Fam, J., & Kim, J. E. (2019). Daily consumption of essence of chicken improves cognitive function: a systematically searched meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutritional Neuroscience*, *24*(3), 236–247. <https://doi.org/10.1080/1028415x.2019.1619984>.
- Tran, Y., Craig, A., Craig, R., Chai, R., & Nguyen, H. (2020). The influence of mental fatigue on brain activity: evidence from a systematic review with meta-analyses. *Psychophysiology*, *57*(5), e13554. <https://doi.org/10.1111/psyp.13554>.
- van Cutsem, J., Roelands, B., Pluym, B., Tassinon, B., Verschueren, J. O., de Pauw, K., & Meeusen, R. (2020). Can creatine combat the mental fatigue-associated decrease in visuomotor skills? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *52*(1), 120–130. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000002122>.
- van Cutsem, J., van, de Pauw, K., Marcora, S., Meeusen, R., & Roelands, B. (2018). A caffeine-maltodextrin mouth rinse counters mental fatigue. *Psychopharmacology*, *235*(4), 947–958. <https://doi.org/10.1007/s00213-017-4809-0>.
- Volkow, N. D., Fowler, J. S., Logan, J., Alexoff, D., Zhu, W., Telang, F., Wang, G. J., Jayne, M., Hooker, J. M., Wong, C., Hubbard, B., Carter, P., Warner, D., King, P., Shea, C., Xu, Y., Muench, L., & Apelskog-Torres, K. (2009). Effects of modafinil on dopamine and dopamine transporters in the male human brain: clinical implications. *JAMA*, *301*(11), 1148–1154. <https://doi.org/10.1001/jama.2009.351>.
- Volkow, N. D., Wang, G.-J., Logan, J., Alexoff, D., Fowler, J. S., Thanos, P. K., Wong, C., Casado, V., Ferre, S., & Tomasi, D. (2015). Caffeine increases striatal dopamine D2/D3 receptor availability in the human brain. *Translational Psychiatry*, *5*, 549. <https://doi.org/10.1038/tp.2015.46>.
- Watanabe, A., Kato, N., & Kato, T. (2002). Effects of creatine on mental fatigue and cerebral hemoglobin oxygenation. *Neuroscience Research*, *42*, 279–285. [https://doi.org/10.1016/s0168-0102\(02\)00007-x](https://doi.org/10.1016/s0168-0102(02)00007-x).
- Yamano, E., Tanaka, M., Ishii, A., Tsuruoka, N., Abe, K., & Watanabe, Y. (2013). Effects of chicken essence on recovery from mental fatigue in healthy males. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, *19*(1), 540–547. <https://doi.org/10.12659/msm.883971>.