

ARTICLE

# Réflexions théoriques et méthodologiques autour du concept de fatigue cognitive

Thomas Mangin<sup>1,2,3,\*</sup> , Michel Audiffren<sup>3</sup>, et Nathalie André<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centre de recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal (CRIUGM), Montréal, Canada

<sup>2</sup> École de kinésiologie et des sciences de l'activité physique (EKSAP), Faculté de Médecine, Université de Montréal, Montréal, Canada

<sup>3</sup> Centre de Recherches sur la Cognition et l'Apprentissage, UMR CNRS 7295, Université de Poitiers, Poitiers, France

Reçu le 5 juin 2022, Accepté le 29 novembre 2022

**Résumé** – Au quotidien nous réalisons des tâches cognitives qui requièrent de l'effort. Quand ces tâches sont particulièrement longues et/ou difficiles, elles induisent généralement de la fatigue cognitive. Cette dernière entraîne une baisse des performances qui s'accroît au cours du temps passé sur la tâche et s'observe dans des tâches subséquentes. Bien que ce champ de recherche soit très prolifique avec des centaines d'études publiées chaque année, l'existence de l'effet délétère de la fatigue cognitive sur la performance ainsi que les mécanismes explicatifs qui sous-tendent cet effet sont encore en débat. Cet article présente dans un premier temps la distinction entre le concept de fatigue cognitive et différents concepts proches tels que ceux de fatigue centrale, de fatigue physique ou encore d'ennui. Par la suite, les grandes théories explicatives de la fatigue cognitive sont abordées, ainsi que leurs divergences et convergences. Les méthodologies employées pour étudier la fatigue cognitive sont aussi explorées, ainsi que les variables confondantes qui doivent être contrôlées lors de la réalisation d'études sur ce sujet. Enfin, les perspectives pour les recherches futures sont explorées notamment les synergies entre les théories explicatives, les moyens de lutter contre la fatigue cognitive aiguë ou encore les pathologies qui peuvent accentuer la fatigue cognitive.

**Mots clés** : épuisement du soi, fatigue mentale, protocole des tâches séquentielles, temps passé sur la tâche

**Abstract - Theoretical methodological reflections on the concept of cognitive fatigue.** Daily we realized cognitive tasks that require effort. When these tasks are particularly long and/or effortful, they generally induce cognitive fatigue that decreases the performance in the ongoing task as a function of time-on-task, and the performance in the following task. The cognitive fatigue research field is prolific with more than hundred studies published each year in sport sciences and psychology journals. However, despite that debate about the existence of the detrimental effect of cognitive fatigue on performance and the mechanisms that explain this phenomenon is still ongoing. The aim of this article is first to present the difference between cognitive fatigue and close concepts, such as central fatigue, physical fatigue, or boredom. The second aim is to present the more advanced models that try to explain the phenomenon, with their differences and similarities. Third, the two known methodologies to study cognitive fatigue are presented, in addition to the confounding factors that need to be controlled when an experiment focusing on cognitive fatigue is realized. Finally, the fourth aim of this article is to present the perspectives for future research, such as the synergy between cognitive fatigue's models, the way to reduce cognitive fatigue or the pathologies that can accentuate it.

**Key words:** ego-depletion, mental fatigue, sequential tasks protocol, time-on-task

\*Auteur de correspondance : [thomas.mangin@umontreal.ca](mailto:thomas.mangin@umontreal.ca)

## 1 Introduction

Dans le cadre de nos activités professionnelles ou de loisir, il nous est tous un jour arrivé de ressentir de la fatigue cognitive pendant ou suite à la réalisation d'une tâche cognitive de longue durée qui demandait de l'effort mental. Cet état passager s'accompagne généralement d'une baisse de performance dans la tâche en cours ou dans celle qui suit et d'une sensation de manque d'énergie (Brown *et al.*, 2020; Dang, 2018; Giboin & Wolff, 2019; Hagger, Wood, Stiff, & Chatzisarantis, 2010).

La fatigue cognitive, aussi appelée fatigue mentale, induit généralement des effets négatifs lors de la réalisation de tâches cognitives subséquentes. Des individus fatigués cognitivement seront par exemple moins à même de planifier leur avenir (Sjåstad & Baumeister, 2018), auront tendance à prendre plus de risque (Freeman & Muraven 2010), auront plus de difficulté à réduire leur consommation d'alcool avant de conduire (Muraven, Collins, & Nienhaus, 2002), ou de consommer de la nourriture en présence de mets appétissants (Tangney, Baumeister, & Boone, 2004). La fatigue cognitive peut aussi avoir un impact sur les performances scolaires avec une réduction des notes aux examens (Job, Walton, Bernecker, & Dweck, 2015).

La fatigue cognitive n'est cependant pas un phénomène réservé aux activités cognitives. Elle peut également s'observer au cours d'activités physiques suite à une tâche cognitive induisant de la fatigue. Par exemple, au cours d'épreuves d'endurance sportive, la fatigue cognitive peut se manifester par une réduction de la vitesse de course ou de pédalage ou par un arrêt précoce de l'épreuve (pour plus de détails, voir la revue de littérature de Pageaux & Lepers, 2018). Différents travaux de recherche montrent qu'elle peut également conduire à une baisse de la précision spatiale lors de lancers de fléchettes ou de tirs en basket-ball (Englert, Bertrams, Furley, & Oudejans, 2015; Englert & Bertrams, 2012), ainsi qu'à une baisse de la vitesse de réaction dans une situation de départ de course (Englert & Bertrams, 2014). En revanche, la fatigue cognitive ne semble pas avoir d'effet sur la force maximale des individus (Brown *et al.*, 2020; Mangin, André, Benraiss, Pageaux, & Audiffren, 2021).

Les tâches impliquant une activité physique peuvent, elles-aussi, induire un effet de fatigue cognitive dans la mesure où elles requièrent un effort mental soutenu. La mise en évidence de la fatigue cognitive induite par l'exercice physique lui-même est plus difficile à réaliser et ce pour deux raisons. Premièrement, les exercices physiques d'intensité modérée à vigoureuse induisent souvent des effets d'améliorations des performances cognitives dans des tâches subséquentes qui sollicitent les fonctions exécutives (Chang, Labban, Gapin, & Etnier, 2012; Lambourne & Tomporowski, 2010; Loprinzi *et al.*, 2019). Cet effet positif de l'exercice qui peut contrecarrer les effets négatifs d'une fatigue cognitive est expliqué soit par une augmentation du débit sanguin cérébral, soit par une augmentation de l'éveil induite par une activation du Locus Coeruleus (Pour une revue complète, voir Pontifex

*et al.*, 2019). Deuxièmement, l'exercice physique induisant également une fatigue physique, il va être difficile de dissocier les effets de la fatigue cognitive de ceux de la fatigue physique. Ainsi, la sensation de fatigue ressentie par des participants suite à une tâche physique (Poulus, Docter, & Westra, 1974) et la chute de performance observée dans une tâche physique subséquente (Le Mansec, Pageaux, Nordez, Dorel, & Jubeau, 2018) peuvent être attribuées à la fatigue cognitive autant qu'à la fatigue physique. Enfin, la fatigue cognitive a un impact important sur la perception de la douleur et la capacité à supporter une telle douleur (Silvestrini & Rainville, 2013; Schmeichel & Vohs, 2009).

Le phénomène que nous venons de décrire est indistinctement appelé fatigue cognitive ou fatigue mentale, mais d'autres termes tels que fatigue centrale, fatigue du contrôle de soi, ou encore épuisement du Soi sont également utilisés pour désigner soit le même phénomène, soit des phénomènes très semblables.

Les mécanismes qui sont à l'origine de la baisse de performance et de la sensation de manque d'énergie qui se manifestent dans un état de fatigue cognitive peuvent être classés en deux grandes familles: les modèles qui considèrent que la fatigue cognitive correspond à une réduction de la capacité à produire et maintenir un effort mental pour des raisons fonctionnelles (*i.e.*, réduction des ressources ou libération de métabolites rendant plus difficile le processus de production d'effort) et ceux qui considèrent qu'elle est d'origine motivationnelle.

Cet article comporte donc quatre parties en plus de la présente introduction. Dans la deuxième partie, nous définissons le concept de la fatigue cognitive et expliquons les différences et similarités qu'il peut partager avec d'autres concepts voisins tels que la fatigue mentale, la fatigue centrale, l'épuisement du Soi, ou encore la fatigue physique. Nous abordons également les confusions qu'il peut y avoir avec d'autres concepts proches, tels que ceux d'ennui ou de somnolence. Comme indiqué plus haut, la troisième partie confronte les grandes théories qui cherchent à expliquer le phénomène de fatigue cognitive. La quatrième partie présente les différents protocoles qui permettent d'étudier la fatigue cognitive en laboratoire, ainsi que les différents indicateurs de ce phénomène psychophysiologique. Enfin, dans la cinquième partie, nous examinons les questions essentielles qui restent à élucider concernant ce phénomène très commun que l'on appelle la fatigue cognitive.

## 2 Définitions

L'objectif de cette partie est de différencier plusieurs concepts proches de celui de fatigue cognitive que nous utiliserons dans tout le reste de l'article, ainsi que d'explicitier les convergences et divergences que l'on peut observer entre ces différents concepts.

Les différentes définitions de la fatigue cognitive se rejoignent toutes à quelques nuances près. Ainsi la fatigue cognitive est définie comme « un état psychobiologique causé par une activité cognitive prolongée. Cela peut être

caractérisé par une augmentation de la sensation d'affaiblissement ou même d'épuisement, d'une réticence à continuer la tâche en cours et par une réduction des performances cognitives » (Pageaux & Lepers, 2018). Boksem & Tops (2008) précisent que cet état peut apparaître pendant ou après une période d'activité cognitive prolongée et que la baisse de performance est due à une réticence à poursuivre la tâche à accomplir, sans préciser si cette tâche est cognitive. Rozand & Lepers (2017) ajoutent que la durée de la tâche fatigante n'est pas la seule caractéristique à prendre en compte dans l'induction d'une fatigue cognitive. Ils proposent que l'intensité ou la difficulté de la tâche fatigante soit aussi à considérer.

La définition de Pageaux & Lepers (2018), qui est très proche de celle de Boksem & Tops (2008), semble être la plus consensuelle puisqu'elle est utilisée dans de nombreux articles (*e.g.*, Brown *et al.*, 2020; Brown & Bray, 2019; Hopstaken, van der Linden, Bakker, & Kompier, 2015a, 2015b; Marcora, Staiano, & Manning, 2009; Pageaux, Marcora & Lepers, 2013; Pageaux & Lepers, 2018; Penna *et al.*, 2018; Van Cutsem *et al.*, 2017). Par ailleurs, Hockey (2013) ajoute que la fatigue cognitive est également caractérisée par un état d'éveil faible (*e.g.*, somnolence, ennui) et un état mental non focalisé (*e.g.*, distrait, inattentif). Enfin, dans la littérature, les termes de fatigue cognitive et de fatigue mentale sont généralement vus comme interchangeable (Pageaux & Lepers, 2018). Cependant, certains auteurs maintiennent cette distinction en considérant que la fatigue mentale renvoie à une fatigue plus globale, ne se limitant pas uniquement aux cognitions, mais incluant aussi par exemple les émotions et la motivation (Van Cutsem *et al.*, 2017). Dans cet article, nous garderons le terme de fatigue cognitive, mais concevons les deux termes comme interchangeables.

## 2.1 Fatigue aiguë et fatigue chronique

Lorsque des chercheurs s'intéressent à l'impact de la fatigue cognitive sur les performances (cognitives ou physiques), ils s'intéressent généralement à l'impact de la fatigue aiguë et non à l'impact de la fatigue chronique. Selon Trendall (2000), la fatigue chronique est généralement « induite par le processus d'une maladie ou d'un traitement plutôt que par une activité. Elle a généralement un début insidieux, se cumule et persiste dans le temps. Elle n'est que rarement dissipée par le sommeil, bien que son effet puisse être réduit temporairement par le repos, le changement d'activité, ou la distraction ». De plus, une fatigue n'est considérée comme chronique que si elle est installée depuis une durée d'au moins 6 mois (Jorgensen, 2008). La fatigue chronique, telle que définie ici, ne correspond donc pas à ce que nous avons désigné par le terme de fatigue cognitive. Cependant, une fatigue chronique pourrait accentuer le phénomène de fatigue cognitive aiguë (*e.g.*, Möller, Nordin, Bartfai, Julin, & Li, 2017; Berard *et al.*, 2019). Pour finir, le mécanisme amenant à une fatigue chronique n'est aujourd'hui pas vraiment connu, mais un dérèglement de l'axe

hypothalamo-pituito-cortico-surrénalien est une hypothèse avancée (Boksem & Tops, 2008). Cela se produirait par une baisse de la régulation de l'hormone cortisol, responsable de la mobilisation énergétique du corps. À l'inverse de la fatigue chronique, la fatigue aiguë est situationnelle et temporaire et peut être dissipée avec suffisamment de repos (Trendall, 2000). Elle est par ailleurs, la plupart du temps, liée à un effort réalisé dans le cadre d'une activité (van der Linden, 2011). Dans cet article, nous allons nous intéresser à la fatigue cognitive aiguë induite par une activité momentanée requérant un engagement en effort.

## 2.2 Fatigue physique et fatigue cognitive

Une autre distinction qui demande à être faite est celle qui existe entre fatigue cognitive et fatigue physique. Le terme fatigue physique utilisé par certains auteurs (Evans, Boggero, & Segerstrom, 2016; Tanaka & Watanabe, 2012) renvoie à ce que d'autres appellent la fatigue musculaire (Gandevia, 2001). Ce dernier auteur la définit comme « toutes réductions induites par un exercice de la capacité d'un muscle à générer de la force ou de la puissance » et considère qu'elle possède « des causes périphériques et centrales ».

La fatigue musculaire peut donc avoir une composante purement périphérique causée par un épuisement des ressources nécessaires à la contraction musculaire tel que le glycogène intra-musculaire, l'ATP ou encore la phosphocréatine (pour une revue, Allen, Lamb, & Westerblad, 2008), ou par une accumulation de métabolites ( $H^+$ ,  $P_i$ ) lors de la glycolyse rapide qui vont réduire la capacité du muscle à produire de la force (pour une revue, Ament & Verkerke, 2009; Fitts, 2016). Cette fatigue périphérique est définie comme une « fatigue produite par des changements au niveau ou en aval de la jonction neuromusculaire » (Gandevia, 2001). D'un autre côté, la fatigue musculaire peut aussi avoir une composante supra-spinale qui est définie comme « une fatigue produite par l'incapacité à générer une sortie du cortex moteur » que l'on peut considérer comme « un sous-ensemble de fatigue centrale » (Gandevia, 2001). La fatigue supra-spinale serait responsable d'environ 25 % de la baisse de force de contraction lors de la fatigue physique (Taylor, Todd, & Gandevia, 2006). Cette fatigue supra-spinale, bien que centrale, n'est pas de même nature que la fatigue cognitive. En effet, la fatigue cognitive comme nous l'avons définie précédemment renvoie à la perception d'un manque d'énergie et d'une baisse de performance causée par une forte et/ou longue sollicitation de l'effort mental et est liée à une baisse de la capacité d'autocontrôle ainsi qu'à une réorientation de la motivation et de l'attention (Forestier, de Chanailles, Boisgontier, & Chalabaev, 2022; Inzlicht & Schmeichel, 2012).

Il est par ailleurs possible d'observer une distinction entre la fatigue musculaire et la fatigue cognitive lors de tâche de contractions maximales ou sous-maximales volontaires. Lorsqu'on induit de la fatigue cognitive à l'aide d'une tâche cognitive, il est en effet possible d'observer une baisse de performance dans des tâches

motrices d'endurance subséquente faisant intervenir un aspect volitionnel et/ou cognitif tel que la persévérance (Brown *et al.*, 2020; Mangin *et al.*, 2021; Pageaux & Lepers, 2018). Cet effet n'est généralement pas observé dans le cas de contractions maximales volontaires (Brown *et al.*, 2020; Mangin *et al.*, 2021).

Dans les tâches de contractions maximales volontaires, la baisse de performance qui est observée par la répétition de la tâche physique peut être causée à la fois par de la fatigue périphérique et de la fatigue centrale. Certains auteurs considèrent que, dans ce cas, la fatigue centrale pourrait être due à une baisse de l'excitabilité des motoneurones venant d'une concentration accrue de neurotransmetteurs dans le milieu extra-cellulaire lors d'activités physiques, dont l'hypothèse principale porte sur la sérotonine et son interaction avec d'autres neurotransmetteurs (Davis, Alderson, & Welsh, 2000; McMorris, Barwood, & Corbett, 2018; Meeusen, Watson, Hasegawa, Roelands, & Piacentini, 2006; Meeusen & Roelands, 2018).

Ainsi, la fatigue musculaire renvoie à l'incapacité à produire une contraction musculaire par le biais d'une composante périphérique et/ou d'une composante centrale. À l'inverse, la fatigue cognitive n'est pas liée à la capacité de produire une contraction musculaire, mais à la capacité à maintenir un effort mental malgré les contraintes de la tâche, ce qui inclut la capacité à maintenir une contraction sous-maximale le plus longtemps possible. Dans la suite de cet article, nous nous concentrerons sur la fatigue cognitive.

### 2.3 Fatigue cognitive et fatigue centrale

Comme nous venons de le voir, le concept de fatigue centrale est fortement associé à la fatigue physique. Ce concept est aussi bien utilisé dans les sciences médicales (Chaudhuri & Behan, 2004; Davis *et al.*, 2000), que dans les sciences du sport et de l'activité physique (Gandevia, 2001; McMorris *et al.*, 2018; McMorris, Barwood, Hale, Dicks, & Corbett, 2018; Meeusen *et al.*, 2006; Pageaux *et al.*, 2013). Cependant, il semblerait que le concept de fatigue centrale tel qu'utilisé dans la littérature médicale renvoie davantage au concept de fatigue cognitive tel qu'on le définit en psychologie (van der Linden, 2011). Cette vision ne semble pas être partagée par les sciences du sport et de l'activité physique qui définissent la fatigue centrale comme « une réduction progressive de l'activation volontaire des muscles pendant un exercice » (Gandevia, 2001).

Certains auteurs ont suggéré que la fatigue cognitive et la fatigue centrale partageaient des mécanismes et des aires cérébrales communs, comme par exemple le cortex préfrontal (Martin Ginis & Bray, 2010). En effet, il semblerait que la fatigue centrale prenne place en amont du cortex prémoteur dans des régions impliquées dans le contrôle exécutif (Bray, Graham, Martin Ginis, & Hicks, 2012). De plus, l'idée d'un gouverneur central qui permet de préserver les ressources disponibles de l'organisme lors d'un exercice physique apparaît dans la littérature

concernant la fatigue centrale (Noakes, 1997, dans Evans *et al.*, 2016; Noakes, 2012) et celle concernant la fatigue cognitive (Baumeister, Tice, & Vohs, 2018; Evans *et al.*, 2016; McMorris *et al.*, 2018; McMorris, Barwood, Hale, *et al.*, 2018). Le gouverneur central permettrait d'intégrer les informations sur la tâche en cours ainsi que sur l'énergie disponible afin de calculer les coûts d'opportunité (Kurzban, Duckworth, Kable, & Myers, 2013) et si nécessaire de préserver l'organisme d'un manque de ressources en induisant une sensation de fatigue. Le gouverneur central permettrait d'éviter un défaut de la régulation de l'homéostasie au sein de l'organisme. De plus, dans le cadre d'exercices physiques, le gouverneur central permettrait également de préserver les muscles d'une contraction trop importante. Il a été ainsi montré que si la zone du cortex moteur associée à un muscle est stimulée *via* la technique de stimulation transcrânienne, alors il est possible pour ce muscle de produire une force de contraction plus importante que lors de la contraction maximale volontaire (Gandevia, 2001).

Il semble donc que la fatigue cognitive et la fatigue centrale partagent des zones cérébrales communes impliquées dans la régulation de l'effort, qu'il soit physique ou cognitif. Le gouverneur central utilisé dans le modèle de Noakes présente ainsi de nombreuses analogies avec le cortex cingulaire antérieur impliqué dans la gestion de l'effort mental (Shenhav *et al.*, 2017; Müller & Apps, 2019; André, Audiffren, & Baumeister, 2019). Ce système permettrait de contrôler les dépenses d'énergie réalisées par l'organisme en fonction des coûts et des bénéfices associés à l'atteinte du but de la tâche en cours (Boksem & Tops, 2008; Shenhav *et al.*, 2017; André *et al.*, 2019). On peut cependant retenir que le concept de fatigue centrale est fortement associé à la réduction de la capacité à produire une force musculaire alors que le concept de fatigue cognitive est lié à la réduction de la capacité à produire un effort mental. À ce point du processus de clarification, on peut se demander si l'intensité d'une force musculaire produite est proportionnelle à l'effort investi dans la tâche. Si la réponse est positive, le concept de fatigue cognitive paraît donc plus large que celui de fatigue centrale. Dans cet article nous préférons utiliser le terme de fatigue cognitive, mais considérons qu'il partage des mécanismes communs avec celui de fatigue centrale.

### 2.4 Fatigue cognitive et épuisement du Soi

L'épuisement du Soi (Ego-depletion, en anglais), étudié principalement en psychologie sociale, est « une réduction de la capacité ou de la volonté du soi à s'engager dans une action volontaire causée par un précédent exercice de la volonté » (Baumeister, Bratslavsky, Muraven, & Tice, 1998). Il est également possible de trouver la définition de l'épuisement du Soi comme « un phénomène selon lequel un effort initial d'autocontrôle altère les performances d'autocontrôle ultérieures » (Dang, Liu, Liu, & Mao, 2017). Dans les deux définitions précitées, le phénomène d'épuisement du Soi se traduit par une baisse de performance dans une seconde tâche suite à la réalisation



d'une première tâche qui demande de l'autocontrôle. Ces définitions ont été remises en question par leur manque de précision et de falsifiabilité (Forestier *et al.*, 2022). Ces auteurs proposent à la place la définition suivante « une altération temporaire de la capacité d'autocontrôle causée par un acte initial d'autocontrôle qui avait pour but de résoudre un conflit motivationnel et qui réduit les ressources en autocontrôle, en volonté et/ou en capacité » (Forestier *et al.*, 2022, p. 25). Dans cette nouvelle définition, il est donc question de motivation, mais aussi de ressources, de volonté ainsi que de capacités à réaliser l'action.

Ces définitions sont très proches de la définition de la fatigue cognitive. La principale différence que l'on peut observer entre les deux définitions porte sur le terme d'autocontrôle. Ainsi, pour certains auteurs, les deux concepts sont suffisamment proches pour qu'ils réfèrent en fin de compte au même phénomène psychologique (Giboin & Wolff, 2019; Inzlicht, Schmeichel, & Macrae, 2014). Certains auteurs préfèrent même le terme de « fatigue d'autocontrôle » à celui « d'épuisement du Soi » puisqu'il s'agit en effet d'une baisse de performance et pas d'un échec total comme cela est renvoyé par le terme d'épuisement (Forestier *et al.*, 2022). Cependant, lorsqu'une distinction est faite entre les deux concepts, c'est régulièrement sur le temps de la tâche épuisante. Ainsi, dans la littérature sur l'épuisement du Soi, les tâches durent en général moins de 30 minutes, alors que dans la littérature sur la fatigue cognitive c'est en général plus de 30 minutes (Brown *et al.*, 2020; Giboin & Wolff, 2019).

Plusieurs auteurs considèrent tout de même que la fatigue cognitive et l'épuisement du Soi sont les deux versants d'une même pièce, et que la différence de nom provient de la différence du champ de recherche dans lequel il a été employé (Brown *et al.*, 2020; Giboin & Wolff, 2019; Inzlicht & Berkman, 2015). Toutefois, puisque la baisse de performance observée dans la seconde tâche dans le cadre de la littérature sur l'épuisement du Soi intervient même après une tâche d'induction de fatigue très courte, et puisque la fatigue cognitive semble apparaître après un certain temps passé sur la tâche (> 30 min), il est possible de considérer que la fatigue cognitive peut être une composante du phénomène de l'épuisement du Soi. Ainsi, d'autres mécanismes tels qu'une baisse de motivation (Schmeichel, Harmon-Jones, & Harmon-Jones, 2010), un désengagement de la tâche (Lin, Saunders, Friese, Evans, & Inzlicht, 2020), ou des croyances sur le caractère limité des ressources mentales (Francis & Job, 2018), pourraient aussi contribuer au phénomène de baisse de performance dans la condition d'épuisement par comparaison à une condition contrôle (voir partie 4 pour une présentation du protocole utilisé pour étudier l'épuisement du Soi). À l'inverse, d'autres auteurs considèrent que c'est l'épuisement du Soi qui est une forme particulière de fatigue cognitive (Forestier *et al.*, 2022). Les auteurs précisent que la fatigue cognitive peut être induite par n'importe quel type d'activité cognitive comme des opérations mathématiques ou des tâches de mémoire. En revanche l'épuisement du Soi (qu'ils appellent fatigue du contrôle de Soi) ne serait induit que par certaines tâches cognitives

spécifiques impliquant un acte d'autocontrôle demandant de l'effort afin de résoudre un conflit motivationnel. Notre point de vue est que ces deux concepts relèvent du même phénomène dans la mesure où la tâche induisant le phénomène demande un effort mental important et qu'elle possède une durée supérieure à 20–30 minutes.

## 2.5 Fatigue cognitive et variables confondantes

Comme nous l'avons vu précédemment, la fatigue cognitive se produit lorsque les individus réalisent une tâche mentale plus ou moins complexe pendant un temps relativement long. Cependant, des tâches longues peuvent aussi induire d'autres effets, et notamment de l'ennui. En effet, la baisse de vigilance que l'on peut observer avec le temps passé sur la tâche lors de tâche d'attention soutenue est associée à l'expérience subjective de l'ennui (Pattyn, Neyt, Henderickx, & Soetens, 2008). L'ennui qui est défini comme « un état aversif de vouloir sans être capable de s'engager dans une activité satisfaisante » (Eastwood, Frischen, Fenske, & Smilek, 2012) est associé à une plus grande activation du réseau du mode par défaut (Danckert & Merrifield, 2018; Esterman & Rothlein, 2019). Ce réseau est un ensemble de régions cérébrales interconnectées qui oriente l'attention et les pensées vers le Soi (*e.g.*, mémoire épisodique, faire des plans pour l'avenir) indépendamment des stimuli extérieurs (Andrews-Hanna, 2012; Danckert & Merrifield, 2018). Ce réseau a une plus grande activité lorsque les tâches sont faciles ou déjà connues et maîtrisées par les participants (*i.e.*, automatisées). À tâche égale, une plus grande activation de ce réseau est également corrélée avec de plus faibles performances (Andrews-Hanna, 2012). Il est par ailleurs suggéré qu'une plus grande activation de ce réseau serait liée à un désengagement du contrôle exécutif dans la tâche en cours (Danckert & Merrifield, 2018). Une plus grande activation de ce réseau est par ailleurs corrélée avec l'augmentation des temps de réponses au cours du temps passé sur la tâche chez des traumatisés crâniens (Bonnelle *et al.*, 2011), ainsi qu'à une baisse de performance dans la tâche de go/no-go (Yakobi, Boylan, & Danckert, 2021).

Ainsi, dans une tâche cognitive longue et monotone, l'ennui pourrait lui aussi expliquer une part significative de la baisse de performance observée en fonction du temps passé sur la tâche. Selon le modèle des composants de sens et d'attention (Westgate & Wilson, 2018), l'ennui amène en effet à un défaut d'attention. L'ennui serait un indicateur pour l'organisme que les ressources ne sont pas correctement allouées et qu'il est nécessaire de se désengager de la tâche en cours afin d'aller vers des tâches plus intéressantes ou pertinentes (Kurzban *et al.*, 2013). Par ailleurs, l'ennui est positivement corrélé avec la sensation de fatigue auto-rapportée (Mangin *et al.*, 2021). Comment démêler l'influence respective de l'ennui et de la fatigue cognitive? Un moyen possible serait de comparer deux conditions de même durée, l'une utilisant la même tâche pendant toute la durée de l'étude (*e.g.*, tâche de Stroop), l'autre utilisant plusieurs tâches sollicitant la même fonction exécutive (*e.g.*, tâche de Stroop, tâche de

Simon, tâche d'Eriksen) mais ayant la même durée que la tâche continue. Cette deuxième condition devrait être associée à moins de monotonie et donc d'ennui vu la variété des tâches utilisées.

Par ailleurs, la fatigue cognitive peut aussi être confondue avec l'endormissement (*i.e.*, sleepiness en anglais). L'endormissement est un état physiologique qui se manifeste par un déficit d'éveil et une baisse de performance et qui varie en fonction du besoin de sommeil, du rythme circadien et du temps depuis lequel l'individu est éveillé (Balkin & Wesensten, 2011). Une différence importante que l'on observe avec la fatigue cognitive est qu'une période d'inactivité va permettre de réduire la fatigue cognitive, mais augmentera l'état d'endormissement (Hu & Lodewijks, 2020).

Par ailleurs, l'adéquation entre l'heure à laquelle les participants participent à une étude et leur préférence circadienne semble jouer un rôle dans les performances (Curtis, Burkley, & Burkley, 2014). De nombreuses études montrent d'ailleurs que la privation de sommeil accentue les effets de fatigue cognitive (*e.g.*, Asplund & Chee, 2013). Réciproquement, l'inertie de sommeil, état qui suit les 20 à 30 premières minutes après le réveil et qui se traduit par des performances réduites, n'est pas liée à un état de fatigue cognitive (Balkin & Wesensten, 2011) mais à un état d'éveil faible. Il est donc primordial de contrôler l'état d'éveil d'un participant lorsqu'il participe à une étude sur la fatigue cognitive, surtout si l'étude comprend plusieurs sessions expérimentales.

### 3 Les grandes théories de la fatigue cognitive

La fatigue cognitive est un phénomène auquel chacun d'entre nous est régulièrement exposé, que ce soit dans le cadre du travail, mais aussi dans le cadre d'activités physiques. Cependant, les mécanismes exacts impliqués dans la fatigue cognitive ne sont pas encore clairement connus. Plusieurs modèles ont été proposés afin d'essayer d'expliquer le phénomène, mais aucun ne permet actuellement de trancher complètement le débat.

#### 3.1 Diminution de ressources

L'une des premières hypothèses qui a été proposée pour expliquer l'apparition de la fatigue cognitive lors de la réalisation d'une tâche mentale a été la diminution des ressources de l'organisme (Baumeister *et al.*, 1998, 2018; Baumeister, Vohs, & Tice, 2007; Caggiano & Parasuraman, 2004; Matthews, 2011). Ainsi avec moins de ressources disponibles, l'organisme à un fonctionnement sous optimal, soit parce que les ressources sont en elles-mêmes limitantes, soit parce que l'organisme préserve les ressources restantes pour des tâches qui seraient plus importantes (Baumeister *et al.*, 2007; Muraven, Shmueli, & Burkley, 2006). Cependant, le type de ressource qui serait utilisé n'a pas été clairement explicité par les auteurs. Le glucose sanguin, première hypothèse quant à cette ressource limitée, n'est pas une hypothèse qui semble encore valide aujourd'hui (Beedie

& Lane, 2012; Kurzban, 2010; Molden *et al.*, 2012; Sanders, Shirk, Burgin, & Martin, 2012). Il a été également proposé qu'il soit possible d'observer le déclin des ressources liées à la fatigue cognitive au travers de marqueurs physiologiques tels que la fréquence cardiaque, l'activité vagale ou l'activation beta-adrénergique, ou encore à l'aide de marqueurs psychologiques tels que la fatigue perçue ou l'énergie perçue (Forestier *et al.*, 2022).

Les modèles en ressources sont à l'heure actuelle des modèles intéressants de par la parcimonie qu'ils amènent et la réponse aux prédictions que l'on peut faire quant à la fatigue cognitive comme par exemple une diminution progressive de la performance avec le temps passé sur la tâche (Ackerman, 2011; Boat *et al.*, 2020; Brown & Bray, 2017). Cependant, ces modèles souffrent du manque de connaissance de la ou des ressources physiologiques qui seraient impliquées dans l'apparition de la fatigue cognitive.

#### 3.2 Mécanisme synaptique

Le modèle plus récent du contrôle intégratif par l'effort propose que la fatigue cognitive soit causée par un affaiblissement de la connectivité au sein du « réseau de la saillance » (André *et al.*, 2019). Ce réseau est celui qui permet l'engagement de l'effort mental dans une tâche, notamment en désactivant le réseau du « mode par défaut » et en activant le réseau « central exécutif ». L'engagement de l'effort mental se ferait également par la génération d'un signal de contrôle par les neurones pyramidaux des mini-colonnes corticales qui constituent le cortex cingulaire antérieur. Cependant, pendant ou à la suite d'une tâche cognitive intense nécessitant un engagement soutenu de l'effort mental, les neurones pyramidaux du réseau de la saillance subiraient une baisse d'efficacité due à un changement de leurs propriétés électrochimiques (*i.e.*, présence de métabolites telle que l'adénosine au niveau des synapses). Ainsi, il serait nécessaire qu'un temps de repos soit respecté afin que les métabolites intra-synaptiques, produits de l'activité cérébrale, soient recapturés par les neurones pré-synaptiques ou éliminés. Ce mécanisme de régulation permettrait de réduire l'activité cérébrale en cas de fonctionnement en sursystème.

Ce modèle répond bien aux prédictions et données de la littérature sur la fatigue cognitive comme la baisse de performance, l'augmentation de la sensation de fatigue, ou encore comment il est possible de dépasser les effets de la fatigue cognitive lorsque la motivation est suffisante (Muraven & Slessareva, 2003) en recrutant plus de mini-colonnes afin de fournir un effort plus important pour compenser la baisse d'efficacité. Cependant, à notre connaissance et du fait de la récence de ce modèle, il manque encore de données empiriques montrant par exemple que le réseau de la saillance est bien affaibli lorsque la fatigue cognitive apparaît, qu'une plus grande concentration d'adénosine peut être observée au sein du cortex cingulaire antérieur après une forte utilisation du réseau de la saillance, ou qu'une plus grande densité

d'ondes thêta préfrontales (indicateurs de l'effort mental engagé dans la tâche) sera observée avec l'augmentation du temps passé sur la tâche afin de compenser la baisse d'efficacité des unités de traitement jusque-là engagées.

### 3.3 Déactivation du système facilitateur / Suractivation du système inhibiteur

Le modèle du système de la double régulation (Ishii, Tanaka, & Watanabe, 2014) propose que deux systèmes sont à l'œuvre lors de la réalisation d'une tâche cognitive. Le premier système dit « de facilitation mentale » (*i.e.*, composé du cortex frontal, du système limbique, des ganglions de la base et du thalamus) permet une amélioration des performances dans la tâche. Le deuxième système dit « d'inhibition mentale » (*i.e.*, composé du cortex insulaire et du cortex cingulaire postérieur) réduit les performances dans la tâche. L'activation du premier système serait amplifiée par la présence de motivation. Ce modèle propose qu'il existe trois formes de fatigue cognitive aiguë. La première serait causée par une activation limitée du système facilitateur. La deuxième serait produite par une activation élevée du système inhibiteur. La troisième serait due à la combinaison des deux précédentes. Cependant, ce modèle semble mieux s'appliquer à la fatigue chronique qu'à la fatigue aiguë : une charge mentale répétée et prolongée amène en effet à des dommages oxydatifs du système facilitateur et à un conditionnement et une sensibilisation du système inhibiteur. Il est intéressant de noter que le système facilitateur présente de nombreuses similitudes avec les deux réseaux « Task positive » que sont le réseau central exécutif et le réseau de la saillance alors que le système inhibiteur présente de nombreuses similitudes avec le réseau « Task negative » du mode par défaut. Bien qu'intéressant, ce modèle n'a reçu jusqu'ici aucune validation expérimentale et reste assez vague sur les mécanismes d'activation des systèmes facilitateurs et inhibiteurs.

### 3.4 Réorientation de la motivation et réduction de l'effort investi

D'autres modèles proposent que la baisse de performance que l'on observe dans le cadre de la fatigue cognitive ne soit pas due à un système de ressources qui s'épuisent lors de la réalisation d'une tâche complexe, mais à une réorientation de l'attention, de la motivation ou encore de l'effort à investir dans la tâche en fonction des coûts et bénéfices à la réalisation de celle-ci (Boksem & Tops, 2008 ; Hockey, 2011 ; Inzlicht *et al.*, 2014 ; Inzlicht & Schmeichel, 2012 ; Kurzban *et al.*, 2013 ; Milyavskaya & Inzlicht, 2017). Ainsi, une première tâche cognitive va réduire la motivation à la réalisation d'objectifs distaux et augmenter la motivation à la réalisation d'objectif proximaux (Boat & Cooper, 2019).

Hockey (2011) propose également que la fatigue est un état adaptatif qui signale la présence d'un conflit motivationnel dans le contrôle des activités entre la tâche

en cours et les tâches alternatives. Ainsi la baisse de performance au cours d'une tâche cognitive peut être due soit à une baisse de l'activation envers l'objectif, soit à un déplacement de l'attention vers un objectif secondaire.

Bien que ces modèles soient intéressants, une récente méta-analyse n'a pas réussi à mettre en évidence que la fatigue cognitive impliquait un changement motivationnel pour la réalisation de la tâche suivante (Hunte, Cooper, Taylor, Nevill, & Boat, 2021).

### 3.5 Activation du schéma de fatigue

Enfin, un dernier modèle propose que la baisse de performance que l'on observe dans le cadre de la fatigue cognitive serait la conséquence d'activation d'un schéma de fatigue à la suite de la réalisation d'une tâche cognitive complexe (Bertrams, 2020). La perception de l'effort et de l'énergie dépensée lors de la réalisation d'une première tâche conduirait à une activation du schéma mental de la fatigue (*i.e.*, la représentation que l'on en a) ou de schémas concurrents (*e.g.*, schéma de vitalité). Par conséquent, les individus vont se comporter comme s'ils étaient fatigués, même si cela n'est objectivement pas le cas et vont être motivés à économiser de l'énergie. Ce modèle permet d'expliquer la fatigue cognitive vicariante ou imaginée ainsi que la récupération vicariante (Ackerman, Goldstein, Shapiro, & Bargh, 2009 ; Egan, Hirt, & Karpen, 2012 ; Graham, Sonne, & Bray, 2014). Cependant, ce modèle n'a pas encore été mis à l'épreuve et par conséquent souffre pour l'instant d'un manque de données empiriques.

### 3.6 Antagonisme ou synergie des mécanismes ?

À première vue, tous ces modèles semblent être concurrents quant à l'explication qu'ils donnent du phénomène de fatigue cognitive. Cependant, en y regardant de plus près, ils semblent bien plus complémentaires et synergiques qu'antagonistes. En fait, deux grandes catégories de modèles peuvent être distingués : (1) les modèles qui considèrent que la fatigue cognitive résulte d'une réduction de la capacité à déployer un effort mental (*i.e.*, modèles en ressources, modèle intégratif du contrôle par l'effort, modèle de la double régulation) ; (2) les modèles qui considèrent que la fatigue cognitive résulte d'une baisse de la motivation à déployer un effort mental (modèles coûts-bénéfices, modèle du schéma de fatigue). En fait, on pourrait très bien concevoir que les deux mécanismes soient concomitants : la baisse de la capacité à déployer un effort s'accompagne d'une baisse de la motivation à produire ce même effort. On pourrait également imaginer une relation causale entre les deux mécanismes : la baisse de motivation à déployer un effort est induite par la plus grande difficulté à maintenir un effort mental élevé. Ces deux hypothèses sont tout à fait plausibles si l'on considère que l'adénosine qui s'accumule sous l'effet d'une forte activité cérébrale peut affecter à la fois la voie dopaminergique (*e.g.*, Ferré, 1997) qui détermine la motivation de l'individu à réaliser une tâche et l'activité des neurones préfrontaux impliqués dans le

contrôle cognitif nécessaire à la réussite de la tâche (*e.g.*, Wang *et al.*, 2007; Arnsten, Paspalas, Gamo, Yang, & Wang, 2010).

Par ailleurs, la baisse de connectivité au sein du réseau de la saillance induite par l'accumulation d'adénosine pourrait entraîner une plus grande activation du réseau du mode par défaut; ce qui entraînerait une réduction du contrôle exécutif des stimuli en lien avec la tâche en cours et une réorientation de la motivation et de l'attention vers des pensées autoréférencées.

## 4 Méthodologie pour étudier la fatigue cognitive

L'induction de la fatigue cognitive se fait généralement en confrontant un individu à la réalisation d'une tâche physique ou cognitive qui demande beaucoup d'effort mental. L'effort mental est ici défini comme un signal de contrôle généré par un large réseau neuronal, appelé réseau de la saillance, qui va optimiser les traitements réalisés par les régions cérébrales impliquées dans la réalisation de la tâche en cours (André *et al.*, 2019). Le déploiement continu de l'effort mental sur une longue période de temps (*i.e.*, supérieure à 30 minutes) est une tâche contraignante et coûteuse (Boksem & Tops, 2008; Shenhav *et al.*, 2017) qui conduit généralement au phénomène de fatigue cognitive.

### 4.1 Protocoles d'induction de la fatigue cognitive

Deux protocoles, comprenant une tâche qui sollicite fortement l'effort mental, ont été et sont toujours aujourd'hui largement utilisés dans le but d'induire une fatigue cognitive. Le plus ancien est le protocole du temps passé sur la tâche (voir Fig. 1), utilisé initialement avec des tâches de vigilance (Mackworth, 1968). Dans ce protocole, le participant est confronté à une tâche mentale de longue durée et sa performance est analysée en fonction du temps passé sur la tâche. Les résultats habituellement observés dans ce type de situation sont une dégradation des performances au fur et à mesure de la tâche (*e.g.*, Boksem, Meijman, & Lorist, 2015; Csathó, van der Linden, Hernádi, Buzás, & Kalmár, 2012; Grier *et al.*, 2003; Simon, Takács, Orosz, Berki, & Winkler, 2020). Le principal inconvénient de ce protocole est qu'il ne permet pas clairement de dissocier les effets de fatigue cognitive et les effets d'ennui ou de baisse du niveau d'éveil induit par la monotonie de la tâche.

Le deuxième protocole, connu sous le nom de protocole des tâches séquentielles, a été introduit par Roy Baumeister et ses collaborateurs (Muraven, Tice, & Baumeister, 1998) pour étudier les défaillances de l'autocontrôle. Il a ensuite été utilisé abondamment en sciences du sport pour étudier les effets de la fatigue cognitive sur les performances physiques (Giboin & Wolff, 2019; Brown *et al.*, 2020; Hunte *et al.*, 2021). Dans ce protocole, les participants réalisent

successivement deux tâches dans deux conditions différentes (voir Fig. 2). La première tâche peut solliciter fortement (tâche d'épuisement) ou faiblement l'effort mental (tâche contrôle). Cette première tâche est suivie d'une deuxième tâche (tâche dépendante) qui demande également de l'effort mental et qui est identique dans les deux conditions décrites précédemment. Si la tâche d'épuisement induit réellement une fatigue cognitive et que la tâche contrôle sollicite faiblement l'effort mental, la performance dans la tâche dépendante doit être plus faible après la tâche d'épuisement.

Le protocole des tâches séquentielles peut être utilisé avec un plan à mesures répétées ou avec un plan à groupes indépendants. Si le plan est à mesures répétées, il est fondamental de contrebalancer l'ordre de passation des conditions A et B (voir Fig. 2). Si le plan est à groupe emboîté, il est capital de veiller à l'homogénéité des deux groupes sur plusieurs variables dont les effets peuvent covarier avec l'effet de fatigue, telles que l'âge, le trait d'autocontrôle (Tangney *et al.*, 2004) ou le trait de prédisposition à l'ennui (Farmer & Sundberg, 1986; Wolff, Bieleke, Martarelli, & Danckert, 2021).

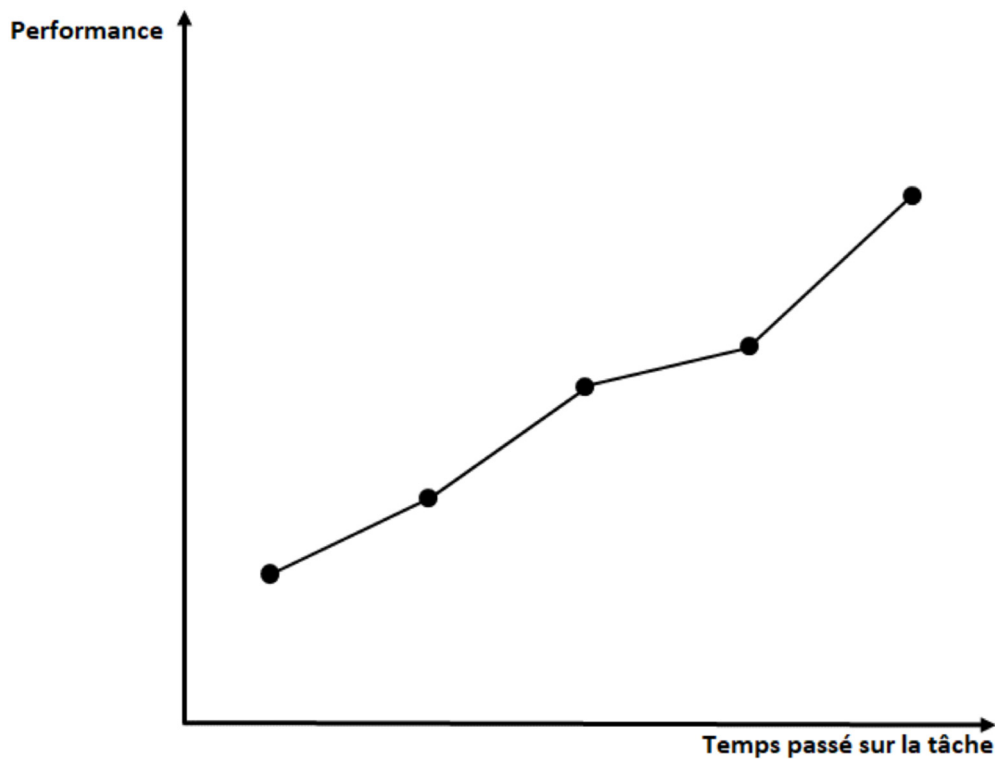
Le protocole des tâches séquentielles est plus lourd à mettre en place que le protocole du temps passé sur la tâche. En effet, il faut que les expérimentateurs veillent à plusieurs précautions méthodologiques: (1) la tâche dépendante doit faire l'objet d'un apprentissage conséquent, (2) la tâche contrôle doit être soigneusement choisie (*i.e.*, faible sollicitation de l'effort mental), (3) la tâche d'épuisement doit être suffisamment longue et solliciter fortement l'effort mental, (4) l'investissement en effort mental doit être contrôlé lors de la réalisation de la tâche d'épuisement et lors de la tâche contrôle avec des indices psychophysiologiques. Ce dernier point privilégie le plan à mesures répétées afin de réduire la variabilité interindividuelle qui est assez grande dans le cas des indices psychophysiologiques. Le protocole du temps passé sur la tâche et le protocole des tâches séquentielles peuvent être combinés si on étudie l'évolution des performances au cours de la tâche d'épuisement en fonction du temps passé sur la tâche.

### 4.2 Mesures de la fatigue cognitive

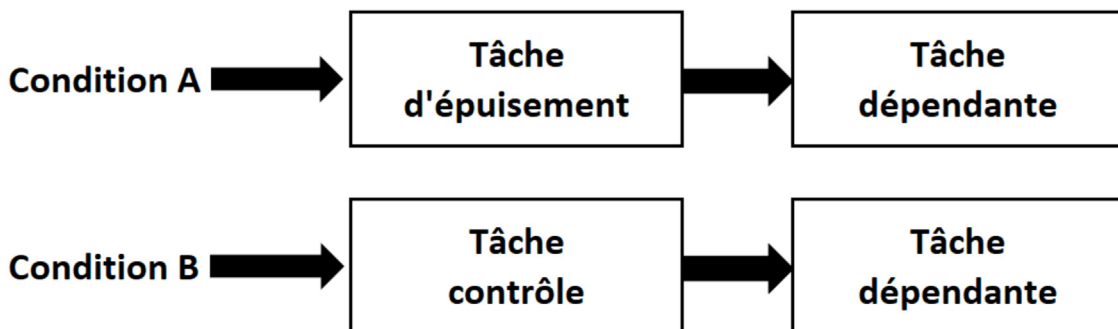
Une fois un protocole approprié mis en place pour induire de la fatigue cognitive, il faut pouvoir la mesurer correctement. Trois catégories de mesure de la fatigue cognitive peuvent être utilisées: (1) les mesures subjectives, (2) les mesures comportementales, (3) les mesures psychophysiologiques et d'imagerie cérébrale. Il est intéressant d'utiliser ces trois catégories d'indices au sein de la même expérimentation afin de faciliter l'interprétation des résultats.

Les mesures subjectives se réalisent généralement avant et après la réalisation de la tâche qui induit la fatigue cognitive et parfois aussi après la tâche dépendante dans le protocole des tâches séquentielles. La fatigue





**Fig. 1.** Détérioration de la performance en fonction du temps passé sur une tâche qui demande de l'effort mental. La tâche mentale est généralement découpée en plusieurs périodes de même durée. La performance enregistrée au cours de chaque période de temps est reportée sur la courbe performance-temps. Sur cette figure, la performance peut être le temps de réaction ou le taux d'erreurs enregistré au cours de la tâche cognitive.



**Fig. 2.** Illustration schématique du protocole des tâches séquentielles. Dans la condition A, les participants réalisent séquentiellement une tâche d'épuisement et une tâche dépendante. Dans la condition B, ils réalisent une tâche contrôle suivie de la même tâche dépendante que celle utilisée dans la condition A. La tâche d'épuisement et la tâche dépendante sollicitent fortement l'effort mental, alors que la tâche contrôle sollicite faiblement l'effort mental.

subjective se mesure à l'aide d'échelles visuelles-analogiques à item unique (*e.g.*, Wylie, Genova, DeLuca, & Dobryakova, 2017; Staud, Boissoneault, Craggs, Lai, & Robinson, 2018; Mangin *et al.*, 2021) ou à l'aide de questionnaires validés comprenant plusieurs items (*e.g.*, Lee, Hicks, & Nino-Murcia, 1991).

Les mesures comportementales s'effectuent pendant la tâche d'induction de la fatigue cognitive ou pendant la tâche dépendante. Ce sont principalement des mesures de

performance. En ce qui concerne la tâche d'induction de la fatigue cognitive, on s'attend à observer une dégradation de la performance en fonction du temps passé sur la tâche. Trois types d'indices de performance peuvent être utilisés : les indices de vitesse de traitement de l'information, tels que la moyenne ou la médiane du temps de réaction (TR; *e.g.*, Berard *et al.*, 2019), les indices de précision, tels que le taux de réponses incorrectes (*e.g.*, Asplund & Chee, 2013) et les indices

de variabilité de la performance, tels que l'écart-type ou le paramètre Tau de la distribution de TR (*e.g.*, Steinborn, Flehmig, Westhoff, & Langner, 2010; Wang, Ding, & Kluger, 2014). Ces trois indices augmentent généralement au cours du temps passé sur la tâche. En ce qui concerne la tâche dépendante, si elle est cognitive, on peut utiliser le même type d'indices que pour la tâche d'épuisement. En revanche, si elle est physique d'autres types d'indices doivent être privilégiés, tels que le temps jusqu'à épuisement dans les épreuves sous-maximales (*e.g.*, Marcora *et al.*, 2009; Azevedo, Silva-Cavalcante, Gualano, Lima-Silva, & Bertuzzi, 2016; Otani, Kaya, Tamaki, & Watson, 2017), la distance parcourue ou le travail effectué dans les épreuves de temps limite (*e.g.*, Martin *et al.*, 2016; Brown & Bray, 2018), le temps mis pour réaliser une distance fixe dans les épreuves de contre la montre (*e.g.*, MacMahon, Schücker, Hagemann, & Strauss, 2014; Pageaux, Lepers, Dietz, & Marcora, 2014; Penna *et al.*, 2018; Pires *et al.*, 2018), et le nombre de répétitions dans les épreuves de résistance musculaire (*e.g.*, Dorris, Power, Kenefick, 2012; Head *et al.*, 2016). D'autres indices comportementaux peuvent également être utilisés au cours de la tâche d'induction de la fatigue tels que le nombre de clignotements des yeux (*e.g.*, Martins & Carvalho, 2015) qui lui aussi va augmenter avec le temps passé sur la tâche et reflète ainsi une moins bonne capacité à se contrôler (*e.g.*, Abi-Jaoude, Segura, Cho, Crawley, & Sandor, 2018).

Les mesures psychophysiques se font généralement durant la tâche d'induction de la fatigue cognitive. Elles ont pour principal objectif de contrôler l'engagement en effort mental au cours de la tâche. Deux stratégies d'engagement de l'effort mental sont attendues au cours d'une tâche de longue durée sollicitant fortement l'effort mental : (1) un désengagement de l'effort mental au cours de la tâche qui coïncide avec une détérioration progressive de la performance, (2) un engagement de plus en plus important en effort mental afin de compenser les effets négatifs de la fatigue et maintenir le niveau de performance (effort compensatoire). Deux grandes catégories d'indices psychophysiques sont utilisés pour contrôler l'investissement en effort mental : (1) les indices qui reflètent le niveau d'activité du système sympathique, le raisonnement étant que plus l'effort mental est élevé, plus la demande en énergie est importante, plus le système sympathique est activé, (2) les indices qui reflètent le niveau d'activité du réseau de la saillance qui sous-tend l'effort mental, le raisonnement étant que plus l'effort mental est élevé, plus le signal de contrôle est puissant et plus l'activité neuronale qui le sous-tend sera intense.

L'activité du système sympathique est principalement mesurée à partir de trois indices psychophysiques : (1) la taille de la pupille (elle diminue avec l'installation de la fatigue cognitive; *e.g.*, Hopstaken *et al.*, 2015a, 2015b; McGarrigle, Dawes, Stewart, Kuchinsky, & Munro, 2017; Bafna & Hansen, 2021), (2) la variabilité de la fréquence cardiaque qui évalue davantage l'activité du système parasympathique (elle augmente avec la présence de

fatigue cognitive; *e.g.*, Melo, Nascimento, & Takase, 2017; Matuz *et al.*, 2021), et (3) la période de pré-éjection (elle augmente si elle reflète un désengagement de l'effort et elle diminue si elle reflète un effort compensatoire; *e.g.*, Kuipers *et al.*, 2017; Mallat, Cegarra, Calmettes, & Capa, 2020). Les indices psychophysiques de l'activité du réseau de la saillance sont quant à eux mesurés à l'aide de l'électro-encéphalographie et sont au nombre de deux : (1) la densité des ondes thêta préfrontales (elle augmente avec le temps passé sur la tâche et la fatigue cognitive; *e.g.*, Borghini, Astolfi, Vecchiato, Mattia, & Babiloni, 2014; Tran, Craig, Craig, Chai, & Nguyen, 2020; Arnau, Brümmer, Liegel, & Wascher, 2021), et (2) l'amplitude ou la latence de l'onde P300 (la latence augmente et l'amplitude diminue en présence de fatigue cognitive; *e.g.*, Kaseda, Jiang, Kurokawa, Mimori, & Nakamura, 1998; Chinnadurai, Venkatesan, Shankar, Samivel, & Ranganathan, 2016). Il peut être intéressant d'avoir plusieurs mesures simultanées du même phénomène pour évaluer la cohérence des données recueillies.

Enfin, les mesures d'imagerie cérébrale vont davantage permettre de déterminer les mécanismes neurophysiologiques à l'œuvre dans le phénomène de fatigue cognitive. Deux catégories d'étude en imagerie cérébrale contribuent à la compréhension des mécanismes qui sous-tendent la fatigue cognitive. Premièrement, les études utilisant l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) d'activation. Dans ce cas, l'acquisition des images IRM se fait généralement pendant la tâche d'induction de la fatigue et les hypothèses portent sur le patron d'activations des zones cérébrales impliquées dans la tâche cognitive (*e.g.*, Breckel, Giessing, & Thiel, 2011; Moeller, Tomasi, Honorio, Volkow, & Goldstein, 2012; Ren, Anderson, McDermott, Baran, & Lin, 2019). Deuxièmement, les études utilisant l'IRMf de repos dans lesquelles l'acquisition des images se fait avant et après la tâche d'induction de fatigue cognitive. Les hypothèses portent ici sur la connectivité au sein et entre les réseaux neuronaux, telle que le réseau de la saillance, le réseau exécutif et le réseau du mode par défaut (*e.g.*, Breckel *et al.*, 2013; Esposito, Otto, Zijlstra, & Goebel, 2014; Gui *et al.*, 2015).

### 4.3 Influence des caractéristiques de la tâche d'épuisement sur la fatigue cognitive

Les différentes théories présentées en section 3 prédisent que la fatigue cognitive est d'autant plus importante que la durée et la difficulté de la tâche d'épuisement sont élevées. Les études utilisant le protocole du temps passé sur la tâche ont clairement montré que la performance se détériorait d'autant plus que la tâche était longue (voir Sect. 2.1). En revanche, peu d'études ont cherché à déterminer le rôle de la durée de la tâche d'épuisement dans le cadre du protocole des tâches séquentielles. Une première étude, réalisée par Wolff, Sieber, Bieleke, & Englert (2019), n'a pas permis de mettre en évidence un effet de la durée de la tâche d'épuisement sur les performances dans une tâche cognitive subséquente. Dans cette étude, les auteurs faisaient varier la

nature (tâche de Stroop ou tâche de transcription) et la durée (2, 4, 8, ou 16 min) de la tâche d'épuisement. À l'inverse, deux autres études utilisant une tâche physique comme seconde tâche ont mis en évidence une baisse de performance progressive avec le temps passé sur la première tâche (Boat *et al.*, 2020 ; Brown & Bray, 2017). Pour l'étude de Brown & Bray (2017), la durée de la première tâche variait de 0 à 10 minutes par tranche de 2 minutes. Les auteurs ont pu mettre en évidence une baisse de performance après 6 minutes de temps passé sur la tâche. Cependant, la performance ne s'est pas avérée différente pour les durées situées entre 6 et 10 minutes. Dans l'étude de Boat *et al.* (2020), la durée de la tâche variait entre 4 et 16 minutes. Les auteurs ont pu mettre en évidence une baisse de performance dans la tâche dépendante plus importante avec l'augmentation de la durée de la tâche d'épuisement. Dans ces trois études, la fatigue subjective mesurée de manière auto-rapportée augmentait de manière proportionnelle au temps passé sur la tâche.

Il est tout de même possible de se questionner quant à la présence de fatigue cognitive dans ces études utilisant une tâche d'épuisement de courte durée. Bien que l'étude de Boat *et al.* (2020) montre que la taille d'effet augmente avec le temps passé sur la tâche, un autre phénomène pourrait également expliquer la baisse de performance dans les études utilisant une tâche d'épuisement de courte durée, tel qu'une baisse de la motivation.

Enfin, les méta-analyses qui ont pris en compte la durée de la tâche d'épuisement comme variable prédictive de la performance dans la tâche dépendante n'ont pas pu mettre en évidence d'effet significatif (Brown *et al.*, 2020 ; Giboin & Wolff, 2019 ; Hagger *et al.*, 2010). Ceci peut s'expliquer de deux manières. Premièrement, les études prises en compte dans les méta-analyses ne portaient pas spécifiquement sur la durée de la tâche. Deuxièmement, il est possible que des facteurs confondants aient été présents, tels que des différences de tailles d'échantillon, de type de tâche ou encore de protocole utilisé en fonction de la durée de la tâche.

Peu d'études se sont intéressées aux effets de la difficulté de la tâche qui induit la fatigue cognitive sur l'amplitude de cet effet de fatigue cognitive. Des tâches simples et monotones, telles que la tâche de l'horloge de Mackworth (1948), la tâche d'attention soutenue à répondre (Robertson, Manly, Andrade, Baddeley, & Yiend, 1997) et la tâche de vigilance psychomotrice (Lim & Dinges, 2008) suffisent à induire un effet de fatigue cognitive. On peut donc se demander si le phénomène de fatigue cognitive s'accroît lorsque la difficulté de la tâche qui induit la fatigue cognitive augmente. Dans deux études utilisant le protocole du temps passé sur la tâche, Borragán, Slama, Bartolomei, & Peigneux (2017) manipulent deux paramètres de la difficulté de la tâche : la complexité de la tâche de n-back (1-back *vs.* 0-back) et la pression temporelle (*i.e.*, temps disponible pour traiter l'information). Ces auteurs montrent que la fatigue cognitive augmente en fonction de la pression temporelle, mais pas en fonction de la complexité de la tâche. Enfin,

Massar, Wester, Volkerts, & Kenemans (2010) s'intéressent aux effets de la complexité d'une tâche n-back (0-back *vs.* 2-back) de 90 minutes sur la performance d'une tâche subséquente de conduite. Ils montrent que l'amplitude de l'onde P3a mesurée à l'aide de l'EEG, et qui est un indice de la disponibilité des ressources attentionnelles, est plus faible au cours de la tâche de conduite après la tâche 2-back. En revanche, ils ne parviennent pas à montrer un effet de fatigue cognitive sur la tâche de conduite. Cet ensemble de résultats suggère que la fatigue cognitive semble plus sensible à la pression temporelle qu'à la complexité de la tâche qui induit la fatigue.

Dans le protocole des tâches séquentielles, la fatigue cognitive est objectivée par la différence de performance dans la tâche dépendante observée soit après une tâche d'épuisement à forte charge cognitive, soit après une tâche contrôle. La tâche contrôle est souvent une version simplifiée de la tâche d'épuisement (*e.g.*, tâche de Stroop avec 100% d'essais congruents) (Boat & Taylor, 2017 ; Bray, Martin Ginis, Hicks, & Woodgate, 2008 ; Silvestrini & Rainville, 2013). Dans ce cas, il est possible de considérer que la différence entre les deux tâches reflète un changement dans le niveau de difficulté. Pour aller dans le même sens, certains auteurs précisent même que ce n'est pas une tâche contrôle mais une tâche facile (Boat & Taylor, 2017). À notre connaissance, une seule étude utilisant le protocole des tâches séquentielles a fait varier le niveau de complexité de la tâche d'épuisement avec au moins trois niveaux de difficulté incluant la condition contrôle (Wimmer, Dome, Hancock, & Wennekers, 2019), mais ces auteurs ont échoué à montrer un effet de cette variable sur la taille de l'effet d'épuisement du Soi.

## 5 Perspectives futures

Parmi les travaux de recherche qui restent à réaliser sur la thématique de la fatigue cognitive, trois grandes orientations stratégiques semblent particulièrement intéressantes à poursuivre dans les années à venir avec des retombées à la fois dans le domaine de la recherche fondamentale et dans celui de la recherche appliquée. Le premier ensemble de recherches chercherait à démêler la contribution des deux principaux mécanismes aujourd'hui suspectés d'être à l'origine de la fatigue cognitive : baisse de la motivation *vs.* réduction des capacités fonctionnelles à produire un effort mental. Le deuxième lot de recherches se focaliserait sur les moyens de lutter contre la fatigue cognitive aiguë. Enfin, le troisième ensemble de recherches aurait pour objectif de comprendre les interactions entre la fatigue chronique et la fatigue aiguë.

### 5.1 Comment démêler la contribution des deux principaux mécanismes à l'origine de la fatigue cognitive ?

Comme nous l'avons vu dans la section 3, deux principaux mécanismes peuvent contribuer au phénomène de la fatigue cognitive : (1) une baisse de la capacité fonctionnelle à produire un effort mental ; (2) une baisse de

la motivation à déployer un effort mental du fait de coûts élevés et de bénéfices insuffisants. Pour déterminer la contribution relative de chacun de ces mécanismes, il faudra tout d'abord posséder des indicateurs de l'implication de ces mécanismes dans la même étude expérimentale.

Examinons en premier lieu, les indicateurs neurophysiologiques qui pourraient être utilisés pour indexer le premier mécanisme. Trois biomarqueurs pourraient être utilisés : (1) le niveau d'activation du réseau du mode par défaut grâce à l'IRMf d'activation pendant la tâche d'induction de la fatigue cognitive en fonction du temps passé sur la tâche (*e.g.*, [Bonnelle et al., 2011](#)); (2) la connectivité entre le réseau du mode par défaut et le réseau du contrôle exécutif grâce à l'IRMf de repos avant et après la tâche d'induction de la fatigue cognitive (*e.g.*, [Gui et al., 2015](#)); (3) la concentration d'adénosine dans des régions préfrontales impliquées dans la tâche d'induction de la fatigue cognitive grâce à la tomographie par émission de positons (TEP ; [Elmenhorst et al., 2007, 2017](#); [Elmenhorst, Meyer, Matusch, Winz, & Bauer, 2012](#)). On s'attend respectivement, à une augmentation de l'activation du réseau du mode par défaut avec le temps passé sur la tâche, à une augmentation de la connectivité entre le réseau du mode par défaut et le réseau du contrôle exécutif après la tâche fatigante et à une augmentation de la concentration d'adénosine dans les régions d'intérêt après la tâche fatigante.

La mesure du troisième biomarqueur nécessite l'utilisation de la TEP. Pour cela, un radioligand, le [ $^{18}\text{F}$ ]8-cyclopentyl-3-(3-fluoropropyl)-1-propylxanthine ou CPFPPX, est injecté à chaque participant avant la réalisation de la tâche d'induction de la fatigue cognitive. Le radioligand se fixe sur les récepteurs de l'adénosine  $A_1$  ( $A_1\text{AR}$ ). En examinant la concentration du radioligand dans une région d'intérêt (*e.g.*, les zones préfrontales ou le striatum) à l'aide de la TEP et en la rapportant à celle mesurée dans le plasma, on obtient un indice du volume de distribution du radioligand et du taux de disponibilité des récepteurs  $A_1$ . Plus la concentration d'adénosine dans une région d'intérêt est élevée, plus le taux de disponibilité des récepteurs  $A_1$  et donc le volume de distribution du radioligand est faible.

Les trois biomarqueurs de la fatigue cognitive présentés plus haut devront être corrélés préférentiellement avec des indices de performance tels que le déclin de performance avec le temps passé sur la tâche ou dans la tâche dépendante. Il est attendu que les trois biomarqueurs corréleront positivement avec les indicateurs subjectifs et comportementaux de la fatigue cognitive.

En ce qui concerne la motivation à réaliser la tâche d'induction de la fatigue cognitive ou la tâche dépendante, deux types d'indicateurs peuvent être utilisés : (1) un score auto-rapporté de motivation mesuré avant de réaliser la tâche ; (2) l'activation du striatum ventral mesurée à l'aide de l'IRMf pendant la réalisation de la tâche ([Schmidt, Lebreton, Cléry-Melin, Daunizeau, & Pessiglione, 2012](#)). Là encore, il est recommandé de calculer la corrélation entre ces deux variables.

Une fois toutes ces variables recueillies, une analyse de régression multiple pourrait être réalisée avec, d'une part, le déclin de performance dû à la fatigue cognitive ou l'augmentation de la perception de fatigue comme variable dépendante et, d'autre part, l'indicateur neurophysiologique de la baisse de capacité à déployer un effort mental et l'indicateur du niveau de motivation à réaliser la tâche comme variables prédictives. Le pourcentage de variance expliquée par chacun des indicateurs pourrait permettre de connaître la part contributive de chacun des mécanismes présentés plus haut au phénomène de fatigue cognitive.

## 5.2 Quelles pistes explorer pour réduire la fatigue cognitive ?

Comme nous l'avons vu dans l'introduction, la fatigue cognitive peut entraîner une défaillance de l'opérateur humain et ainsi avoir des conséquences négatives graves dans certaines situations (*e.g.*, opération chirurgicale, pilotage d'un véhicule, surveillance d'un dispositif stratégique). Trouver les moyens de réduire les effets délétères de cette fatigue cognitive est donc un enjeu de société important. Plusieurs solutions ont été envisagées et ont reçu un succès plus ou moins élevé : (1) la mise en place de pauses passives ou actives, (2) la prise de drogues psychostimulantes, et (3) l'utilisation de facteurs motivationnels. Chacune de ces solutions sera brièvement présentée ci-dessous et des pistes de recherches futures seront évoquées. Une revue de littérature récente évoque d'ailleurs certaines de ces contre-mesures ([Proost et al., 2022](#)).

Une première solution pour réduire la fatigue cognitive dans le cas d'une tâche de longue durée consiste à scinder la tâche en plusieurs parties entrecoupées de courtes pauses passives (*i.e.*, périodes de repos, massages, relaxation en écoutant de la musique) ou actives (*i.e.*, activités physiques, exercices de pleine conscience). Il a en effet été clairement établi que de courtes périodes de repos permettaient de maintenir un niveau de performance compatible avec l'objectif à atteindre et d'éviter une accumulation de fatigue sur une longue période de travail (pour une revue de question, [Tucker, 2003](#)). Plusieurs études réalisées dans des situations de travail plus écologiques ont confirmé les bénéfices de pauses régulières, généralement toutes les heures, sur la fatigue et le bien-être physique et psychologique ([Bhatia & Murrell, 1969](#); [Boucsein & Thum, 1997](#); [Dababneh, Swanson, & Shell, 2001](#); [Faucett, Meyers, Miles, Janowitz, & Fathallah, 2007](#); [Meijman, 1997](#)). Très peu d'études ont jusqu'à présent examiné la plus-value de pauses actives incluant des exercices physiques (*e.g.*, [Oberste et al., 2021](#); [Jacquet, Poulin-Charronnat, Bard, Perra, & Lepers, 2021](#)) ou des exercices de pleine conscience (*e.g.*, [Axelsen, Kirk, & Staiano, 2020](#)). L'étude de l'effet de ces pauses actives sur le réseau du mode par défaut serait une piste de recherche très intéressante dans l'avenir.



Une deuxième solution consiste à prendre des drogues stimulantes qui vont atténuer le ou les mécanismes neurophysiologiques à l'origine de la fatigue cognitive. Par exemple, la caféine est la substance psychoactive la plus utilisée. Plusieurs études ont montré qu'une ingestion de caféine permettait une amélioration des performances dans les exercices d'endurance (Azevedo *et al.*, 2016; Stadheim, Stensrud, Brage, & Jensen, 2021; Tomazini *et al.*, 2022; pour une revue de questions, Albrecht & Andrade, 2018), des tâches très sensibles à la fatigue cognitive. La caféine réduirait la fatigue en se fixant sur les récepteurs membranaires A<sub>1</sub> et en bloquant l'action de l'adénosine (Davis *et al.*, 2002). D'autres drogues psychostimulantes, telles que le modafinil et le méthylphénidate, sont par exemple utilisées comme traitement de longue durée pour réduire les effets de la fatigue chronique dans le cas de la sclérose en plaque pour le premier (Hei, Li, Xu, Chen, & Liang, 2018) et dans le cas des traumatismes crâniens pour le second (Johansson, Wentzel, Andréll, Rönnbäck, & Mannheimer, 2017). L'utilisation de la caféine comme contre-mesure de la fatigue cognitive possède cependant un principal inconvénient dans le cas d'une consommation régulière : un effet d'habituation qui se traduit par une augmentation de la tolérance à la substance psychoactive et donc à une réduction de ses effets bénéfiques (Beaumont *et al.*, 2017; Heinz, Daedelow, Wackerhagen, & Di Chiara, 2020). Dans l'avenir, il serait particulièrement intéressant d'utiliser la caféine pour vérifier qu'elle joue bien un rôle déterminant dans le blocage des molécules d'adénosine s'accumulant suite à une fatigue cognitive.

Enfin, une troisième et dernière solution consiste à utiliser des facteurs motivationnels afin d'augmenter les bénéfices immédiats associés à la réalisation de la tâche. Plusieurs facteurs ont montré leur efficacité dans ce domaine : les feedbacks (Sanders, 1983) et les récompenses (Herlambang, Taatgen, & Cnossen, 2019) donnés au cours d'une tâche de longue durée, ainsi que le plaisir éprouvé au cours de cette tâche (Herlambang, Cnossen, & Taatgen, 2021), permettent d'annuler les effets du temps passé sur la tâche. Enfin, selon la théorie de l'auto-détermination (Ryan & Deci, 2008), lorsque des individus réalisent des activités qui répondent à leurs besoins psychologiques fondamentaux (*i.e.*, compétence, appartenance sociale, autonomie), cela leur permettrait d'augmenter l'énergie qu'ils investissent dans ces activités. Ces effets confirment que la fatigue cognitive possède une composante motivationnelle. L'implication du système dopaminergique mésolimbique dans la réduction de la fatigue cognitive serait à tester dans l'avenir.

### 5.3 Comment étudier les interactions entre fatigue chronique et fatigue aiguë

Comme nous l'avons vu plus haut, la fatigue cognitive peut être passagère et réactionnelle après une activité intense ou lors d'une brève infection. Elle peut également être durable, ou chronique lorsqu'elle est associée à une maladie comme le cancer, le diabète ou encore les maladies

cardiovasculaires, ou une souffrance psychique comme la dépression ou le burn-out. La fatigue chronique fait référence à une incapacité à initier et/ou à maintenir des tâches attentionnelles (fatigue cognitive) et activités physiques (fatigue physique) nécessitant une motivation personnelle (par opposition à une stimulation externe) en l'absence de toute faiblesse motrice cliniquement détectable ou démence (Chaudhuri & Behan, 2000).

Si la littérature sur ces deux formes de fatigue est plutôt bien documentée (Boksem & Tops, 2008, pour la fatigue aiguë; Chaudhuri & Behan, 2000, pour la fatigue chronique), en revanche, les liens entre la fatigue aiguë et la fatigue chronique restent encore très peu explorés. En effet, la fatigue chronique est généralement étudiée une fois installée. Pourtant, quelques facteurs peuvent venir expliquer la chronicisation de la fatigue et ses liens avec la fatigue aiguë. En particulier, les mécanismes inflammatoires associés aux maladies ou pathologies ont été largement étudiés dans la prévalence de la fatigue chronique (*e.g.*, Lacourt, Vichaya, Chiu, Dantzer, & Heijnen, 2018; Trautman, 2021) mais sans nécessairement effectuer de liens avec la fatigue cognitive aiguë. Un certain nombre de données semblent corroborer le lien entre inflammation, stress et fatigue chronique. Par exemple, l'exposition continue et répétée à des conditions fatigantes comme la récurrence des pensées négatives, l'inquiétude liée à la maladie, la douleur chronique, sont autant de conditions pouvant accentuer la fatigue cognitive aiguë.

Une autre cause possible de la fatigue chronique concerne une récupération inadéquate, par exemple en raison d'un mauvais sommeil, d'une alimentation déséquilibrée ou de vacances insatisfaisantes (André & Baumeister, 2022). À ce propos, Brosschot, Piepera, & Thayer (2005) ont proposé que des facteurs de stress liés aux représentations cognitives actives prolongées, également appelées cognitions persévératives, telles que l'inquiétude, la rumination et le stress d'anticipation, puissent être des facteurs de fatigue chronique. Toutefois, il apparaît que si la fatigue chronique est systématiquement associée à une inflammation, en revanche, l'inflammation n'a pas été démontrée comme étant systématiquement associée à la fatigue.

D'autres mécanismes doivent être explorés comme la modification durable de la connectivité cérébrale, modification dont on peut supposer qu'elle soit en partie initiée par une répétition de fatigues aiguës. Par exemple, une revue de questions récente de André, Gastinger, & Rébillard (2021) examinant les relations entre la fatigue chronique et l'activation cérébrale dans des tâches sollicitant les fonctions exécutives chez des patients atteints d'un cancer ont mis en évidence une activation du réseau du mode par défaut et une diminution de l'activité dans les régions impliquées dans les tâches en cours (*e.g.*, réseau du contrôle exécutif), entraînant des pertes d'attention et une diminution des performances. Le désengagement des régions cérébrales associées à l'effort mental (*i.e.*, le réseau de la saillance) et l'activation des régions cérébrales liées au réseau du mode par défaut

pourrait avoir pour but de détourner l'attention de la tâche en cours afin de préserver les ressources mentales. Ainsi, des études doivent être menées afin d'examiner le lien entre la fatigue cognitive aiguë et la fatigue chronique en considérant les effets de la fatigue cognitive aiguë sur l'affaiblissement de la connectivité cérébrale, notamment entre le réseau du mode par défaut et les deux principaux réseaux activés lors de la réalisation de tâches cognitives (*i.e.*, le réseau de la saillance et le réseau du contrôle exécutif).

## 6 Conclusions

Comme nous l'avons vu dans cet article, la recherche sur la fatigue cognitive est encore en plein développement. Il existe pourtant encore deux débats autour de l'effet de baisse de performances lors de la présence de fatigue cognitive. Premièrement, le débat sur l'existence de l'effet semble venir en partie de problèmes conceptuels, notamment la distinction entre différents concepts associés à la fatigue cognitive mais relevant de mécanismes distincts (*e.g.*, somnolence, ennui). Dans cet article nous avons justement essayé de préciser les distinctions et ressemblances entre ces différents concepts qui gravitent autour du phénomène de fatigue cognitive. Le débat sur l'existence de l'effet d'épuisement du Soi, que l'on retrouve particulièrement en psychologie sociale, peut également venir de problèmes méthodologiques. Ces derniers peuvent être résolus en contrôlant les variables confondantes, et également en mesurant la fatigue cognitive avec des mesures subjectives, psychophysiques et comportementales simultanément. Les caractéristiques de la tâche en termes de durée et de complexité auraient également un impact sur la taille de l'effet de la fatigue. Ainsi, des tâches trop courtes ou pas assez fatigantes réduiraient la probabilité de réplication. Deuxièmement, le débat porte également sur les mécanismes et par conséquent les théories qui cherchent à expliquer la fatigue cognitive. Ces théories évoquent des mécanismes qui ne sont pas antagonistes et qui pourraient au contraire être synergiques. Une approche intégrative pourrait permettre à l'avenir de créer un modèle plus complet, expliquant mieux les résultats observés dans la littérature. Enfin, cet article propose des perspectives de recherche afin de cibler les mécanismes qui permettraient de se protéger de la fatigue cognitive au quotidien, ainsi que sa chronicisation lorsque la fatigue cognitive aiguë est récurrente, ce qui pourrait permettre d'éviter un mal-être pour des milliers d'individus notamment dans les cas de pathologies ayant comme comorbidité de la fatigue cognitive chronique. Ainsi la fatigue cognitive est une thématique en pleine mutation théorique et méthodologique. Plusieurs pistes de recherche futures sont encore à explorer afin de mieux comprendre ce phénomène complexe.

*Remerciements.* Cette revue de questions a été réalisée avec le soutien financier du Conseil Régional de Nouvelle Aquitaine (2020-AAP-UP-ACoRE).

## Références

- Abi-Jaoude, E., Segura, B., Cho, S.S., Crawley, A., & Sandor, P. (2018). The neural correlates of self-regulatory fatigability during inhibitory control of eye blinking. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 30(4), 325–333. <https://doi.org/10.1176/appi.neuropsych.17070140>.
- Ackerman, J.M., Goldstein, N.J., Shapiro, J.R., & Bargh, J.A. (2009). You wear me out: The vicarious depletion of self-control. *Psychological Science*, 20(3), 326–332. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2009.02290.x>.
- Ackerman, P.L. (Ed.) (2011). *Cognitive fatigue: Multidisciplinary perspectives on current research and future applications*. American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/12343-000>.
- Albrecht, K., & Andrade, J. (2018). Effects of caffeine consumption on endurance exercise: A systematic review. *The International Journal of Sport and Society*, 9 (4), 1-15. <http://doi.org/10.18848/2152-7857/CGP/v09i04/1-15..>
- Allen, D.G., Lamb, G.D., & Westerblad, H. (2008). Skeletal muscle fatigue: Cellular mechanisms. *Physiological Reviews*, 88 (1), 287–332. <https://doi.org/10.1152/physrev.00015.2007>.
- Ament, W., & Verkerke, G.J. (2009). Exercise and fatigue. *Sports Medicine*, 39 (5), 389–422. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939050-00005>.
- André, N., Audiffren, M., & Baumeister, R.F. (2019). An integrative model of effortful control. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 13, 79 <https://doi.org/10.3389/fnsys.2019.00079>.
- André, N., & Baumeister, R.F. (2022). Three pathways into chronic lack of energy as a mental health complaint. *European Journal of Health Psychology*. <https://doi.org/10.1027/2512-8442/a000123>.
- André N., Gastinger, S., & Rébillard, A. (2021). Chronic fatigue in cancer, brain connectivity and reluctance to engage in physical activity: A mini-review. *Frontiers in Oncology*, 11, 774347 <https://doi.org/10.3389/fonc.2021.774347>.
- Andrews-Hanna, J.R. (2012). The brain's default network and its adaptive role in internal mentation. *The Neuroscientist*, 18 (3), 251–270. <https://doi.org/10.1177/1073858411403316>.
- Arnau, S., Brümmner, T., Liegel, N., & Wascher, E. (2021). Inverse effects of time-on-task in task-related and task-unrelated theta activity. *Psychophysiology*, 58, e13805. <https://doi.org/10.1111/psyp.13805>.
- Arnsten, A.F.T., Paspalas, C.D., Gamo, N.J., Yang, Y., & Wang, M. (2010). Dynamic network connectivity: A new form of neuroplasticity. *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 365–375. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.05.003>.
- Asplund, C.L., & Chee, M.W.L. (2013). Time-on-task and sleep deprivation effects are evidenced in overlapping brain areas. *NeuroImage*, 82, 326-335. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.05.119>.
- 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>.
- Bafna, T., & Hansen, J.P. (2021). Mental fatigue measurement using eye metrics: A systematic literature review. *Psychophysiology*, 58, e13828. <https://doi.org/10.1111/psyp.13828>.

- Balkin, T.J., & Wesensten, N.J. (2011). Differentiation of sleepiness and mental fatigue effects. In P.L. Ackerman (Ed.), *Cognitive fatigue: Multidisciplinary perspectives on current research and future applications* (pp. 47–66). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/12343-002>.
- 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>.
- Baumeister, R.F., Tice, D.M., & Vohs, K.D. (2018). The strength model of self-regulation: Conclusions from the second decade of willpower research. *Perspectives on Psychological Science*, *13* (2), 141–145. <https://doi.org/10.1177/1745691617716946>.
- Baumeister, R.F., Vohs, K.D., & Tice, D.M. (2007). The strength model of self-control. *Current Directions in Psychological Science*, *16* (6), 351–355. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2007.00534.x>.
- Beaumont, R., Cordery, P., Funnell, M., Mears, S., James, L., & Watson, P. (2017). Chronic ingestion of a low dose of caffeine induces tolerance to the performance benefits of caffeine. *Journal of Sports Sciences*, *35* (19), 1920–1927. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1241421>.
- Beedie, C.J., & Lane, A.M. (2012). The role of glucose in self-control: Another look at the evidence and an alternative conceptualization. *Personality and Social Psychology Review*, *16* (2), 143–153. <https://doi.org/10.1177/1088868311419817>.
- Berard, J.A., Fang, Z., Walker, L.A.S., Lindsay-Brown, A., Osman, L., Cameron, I., Cruce, R., Cron, G.O., Freedman, M. S., & Smith, A.M. (2019). Imaging cognitive fatigability in multiple sclerosis: Objective quantification of cerebral blood flow during a task of sustained attention using ASL perfusion fMRI. *Brain Imaging and Behavior*, *14* (6), 2417–2428. <https://doi.org/10.1007/s11682-019-00192-7>.
- Bertrams, A. (2020). A schema-activation approach to failure and success in self-control. *Frontiers in Psychology*, *11*, 2256. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.02256>.
- Bhatia, N., & Murrell, K.F.H. (1969). An industrial experiment in organized rest pauses. *Human Factors*, *11*, 167–173. <https://doi.org/10.1177/001872086901100210>.
- Boat, R., & Cooper, S.B. (2019). Self-control and exercise: A review of the bi-directional relationship. *Brain Plasticity*, *5*, 97–104. <https://doi.org/10.3233/BPL-190082>.
- Boat, R., Hunte, R., Welsh, E., Dunn, A., Treadwell, E., & Cooper, S.B. (2020). Manipulation of the duration of the initial self-control task within the sequential-task paradigm: Effect on exercise performance. *Frontiers in Neuroscience*, *14*, 571312. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.571312>.
- Boat, R., & Taylor, I.M. (2017). Prior self-control exertion and perceptions of pain during a physically demanding task. *Psychology of Sport and Exercise*, *33*, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2017.07.005>.
- Boksem, M.A.S., Meijman, T.F., & Lorist M.M. (2015). Effects of mental fatigue on attention: An ERP study. *Cognitive Brain Research*, *25*, 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.04.011>.
- 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>.
- Bonnelle, V., Leech, R., Kinnunen, K.M., Ham, T.E., Beckmann, C.F., de Boissezon, X., Greenwood, R.J., & Sharp, D.J. (2011). Default mode network connectivity predicts sustained attention deficits after traumatic brain injury. *Journal of Neuroscience*, *31* (38), 13442–13451. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1163-11.2011>.
- Borghini, G., Astolfi, L., Vecchiato, G., Mattia, D., & Babiloni, F. (2014). Measuring neurophysiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental workload, fatigue and drowsiness. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *44*, 58–75. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.10.003>.
- Borragán, G., Slama, H., Bartolomei, M., & Peigneux, P. (2017). Cognitive fatigue: A time-based resource-sharing account. *Cortex*, *89*, 71–84. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.01.023>.
- Boucsein, W., & Thum, M. (1997). Design of work/rest schedules for computer work based on psychophysiological recovery measures. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *20*, 51–57. [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(96\)00031-5](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(96)00031-5).
- Bray, S.R., Graham, J.D., Martin Ginis, F.K.A., & Hicks, A.L. (2012). Cognitive task performance causes impaired maximum force production in human hand flexor muscles. *Biological Psychology*, *89* (1), 195–200. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2011.10.008>.
- Bray, S.R., Martin Ginis, F.K.A., S Hicks, A.L., & S Woodgate, J. (2008). Effects of self-regulatory strength depletion on muscular performance and EMG activation. *Psychophysiology*, *45* (2), 337–343. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2007.00625.x>.
- Breckel, T.P.K., Giessing, C., & Thiel, C.M. (2011). Impact of brain networks involved in vigilance on processing irrelevant visual motion. *NeuroImage*, *55*, 1754–1762. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.01.025>.
- Breckel, T.P.K., Thiel, C.M., Bullmore, E.T., Zalesky, A., Patel, A.X., & Giessing, C. (2013). Long-term effects of attentional performance on functional brain network topology. *PLoS ONE*, *8* (9), e74125. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0074125>.
- Brosschot, J., Piepera, S., & Thayer, J. (2005). Expanding stress theory: Prolonged activation and perseverative cognition. *Psychoneuroendocrinology*, *30*, 1043–1049. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2005.04.008>.
- Brown, D.M.Y., & Bray, S.R. (2017). Graded increases in cognitive control exertion reveal a threshold effect on subsequent physical performance. *Sport, Exercise, and Performance Psychology*, *6* (4), 355–369. <https://doi.org/10.1037/spy0000091>.
- Brown, D.M., & Bray, S.R. (2018). Effects of mental fatigue on exercise intentions and behavior. *Annals of Behavioral Medicine*, *53*, 405–414. <https://doi.org/10.1093/abm/kay052>.
- Brown, D.M.Y., & Bray, S.R. (2019). Effects of Mental Fatigue on Exercise Intentions and Behavior. *Annals of Behavioral Medicine*, *53* (5), 405–414. <https://doi.org/10.1093/abm/kay052>.
- Brown, D.M.Y., Graham, J.D., Innes, K.I., Harris, S., Flemington, A., & Bray, S.R. (2020). 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>.
- Caggiano, D.M., & Parasuraman, R. (2004). The role of memory representation in the vigilance decrement. *Psychonomic Bulletin & Review*, *11* (5), 932–937. <https://doi.org/10.3758/BF03196724>.
- Chang, Y.K., Labban, J.D., Gapin, J.I., & Etnier, J.L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research*, *1453* (250), 87–101. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2012.02.068>.
- Chaudhuri, A., & Behan, P.O. (2000). Fatigue and basal ganglia. *Journal of the Neurological Sciences*, *179*, 34–42. [https://doi.org/10.1016/s0022-510x\(00\)00411-1](https://doi.org/10.1016/s0022-510x(00)00411-1).



- Chaudhuri, A., & Behan, P.O. (2004). Fatigue in neurological disorders. *The Lancet*, *363* (9413), 978–988. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(04\)15794-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(04)15794-2).
- Chinnadurai, S.A., Venkatesan, S.A., Shankar, G., Samivel, B., & Ranganathan, L.N. (2016). A study of cognitive fatigue in Multiple Sclerosis with novel clinical and electrophysiological parameters utilizing the event related potential P300. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, *10*, 1-6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.msard.2016.08.001>.
- Csathó, Á., van der Linden, F D., Hernádi, I., Buzás, P., & Kalmár, G. (2012). Effects of mental fatigue on the capacity limits of visual attention. *Journal of Cognitive Psychology*, *24* (5), 511–524. <https://doi.org/10.1080/20445911.2012.658039>.
- Curtis, J., Burkley, E., & Burkley, M. (2014). The rhythm is gonna get you: The influence of circadian rhythm synchrony on self-control outcomes. *Social and Personality Psychology Compass*, *8* (11), 609–625. <https://doi.org/10.1111/spc3.12136>.
- Dababneh, A.J., Swanson, N., & Shell, R.L. (2001). Impact of added rest breaks on the productivity and well-being of workers. *Ergonomics*, *44*, 164–174. <https://doi.org/10.1080/00140130121538>.
- Danckert, J., & Merrifield, C. (2018). Boredom, sustained attention and the default mode network. *Experimental Brain Research*, *236* (9), 2507–2518. <https://doi.org/10.1007/s00221-016-4617-5>.
- Dang, J. (2018). An updated meta-analysis of the ego depletion effect. *Psychological Research*, *82* (4), 645–651. <https://doi.org/10.1007/s00426-017-0862-x>.
- Dang, J., Liu, Y., Liu, X., & Mao, L. (2017). The ego could be depleted, providing initial exertion is depleting: A preregistered experiment of the ego depletion effect. *Social Psychology*, *48* (4), 242–245. <https://doi.org/10.1027/1864-9335/a000308>.
- Davis, J.M., Alderson, N.L., & Welsh, R.S. (2000). Serotonin and central nervous system fatigue: nutritional considerations. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *72* (2), 573S–578S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/72.2.573S>.
- Davis, J.M., Zhao, Z., Stock, H.S., Mehl, K.A., Buggy, J., & Hand, G.A. (2002). Central nervous system effects of caffeine and adenosine on fatigue. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, *284*, R399–R404. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00386.2002>.
- Dorris, D.C., Power, D.A., Kenefick, E. (2012). Investigating the effects of ego depletion on physical exercise routines of athletes. *Psychology of Sport and Exercise*, *13*, 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2011.10.004>.
- Eastwood, J.D., Frisken, A., Fenske, M.J., & Smilek, D. (2012). The unengaged mind: Defining boredom in terms of attention. *Perspectives on Psychological Science*, *7* (5), 482–495. <https://doi.org/10.1177/1745691612456044>.
- Englert, C., & Bertrams, A. (2012). Anxiety, ego depletion, and sports performance. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *34* (5), 580–599. <https://doi.org/10.1123/jsep.34.5.580>.
- Englert, C., & Bertrams, A. (2014). The effect of ego depletion on sprint start reaction time. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *36* (5), 506–515. <https://doi.org/10.1123/jsep.2014-0029>.
- Englert, C., Bertrams, A., Furley, P., & Oudejans, R.R.D. (2015). Is ego depletion associated with increased distractibility? Results from a basketball free throw task. *Psychology of Sport and Exercise*, *18* (1), 26–31. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2014.12.001>.
- Egan, P.M., Hirt, E.R., & Karpen, S.C. (2012). Taking a fresh perspective: Vicarious restoration as a means of recovering self-control. *Journal of Experimental Social Psychology*, *48* (2), 457–465. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2011.10.019>.
- Elmenhorst, D., Meyer, P.T., Winz, O.H., Matusch, A., Ermert, J., Coenen, H.H., Basheer, R., Haas, H.L., Zilles, K., & Bauer, A. (2007). Sleep deprivation increases A1 adenosine receptor binding in the human brain: A positron emission tomography study. *The Journal of Neuroscience*, *27* (9), 2410–2415. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI5066-06.2007>.
- Elmenhorst, D., Meyer, P.T., Matusch, A., Winz, O.H., & Bauer, A. (2012). Caffeine occupancy of human cerebral A1 adenosine receptors: In vivo quantification with 18F-CPFPX and PET. *The Journal of Nuclear Medicine*, *53*, 1723–1729. <https://doi.org/10.2967/jnumed.112.105114>.
- Elmenhorst, D., Elmenhorst, E.-M., Hennecke, E., Kroll, T., Matusch, A., Aeschbach, D., & Bauer, A. (2017). Recovery sleep after extended wakefulness restores elevated A1 adenosine receptor availability in the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *114* (16) 4243–4248. <https://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1614677114>.
- Esposito, F., Otto, T., Zijlstra, F.R.H., & Goebel, R. (2014). Spatially distributed effects of mental exhaustion on resting-state fMRI networks. *PLoS ONE*, *9* (4), e94222. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094222>.
- Esterman, M., & Rothlein, D. (2019). Models of sustained attention. *Current Opinion in Psychology*, *29*, 174–180. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2019.03.005>.
- Evans, D.R., Boggero, I.A., & Segerstrom, S.C. (2016). The nature of self-regulatory fatigue and “ego depletion”: Lessons from physical fatigue. *Personality and Social Psychology Review*, *20* (4), 291–310. <https://doi.org/10.1177/1088868315597841>.
- Farmer, R., & Sundberg, N.D. (1986). Boredom proneness – The development and correlates of a new scale. *Journal of Personality Assessment*, *50* (1), 4–17. [https://doi.org/10.1207/s15327752jpa5001\\_2](https://doi.org/10.1207/s15327752jpa5001_2).
- Faucett, J., Meyers, J., Miles, J., Janowitz, I., & Fathallah, F. (2007). Rest break interventions in stoop labor tasks. *Applied Ergonomics*, *38*, 219–226. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2006.02.003>.
- Ferré, S. (1997). Adenosine-dopamine interactions in the ventral striatum: Implications for the treatment of schizophrenia. *Psychopharmacology*, *133*, 107–120. <https://doi.org/10.1007/s002130050380>.
- Fitts, R.H. (2016). The role of acidosis in fatigue: Pro perspective. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *48* (11), 2335–2338. <https://doi.org/10.1249/MSS0000000000001043>.
- Forestier, C., de Chanaille, M., Boisgontier, M.P., & Chalabaev, A. (2022). From ego depletion to self-control fatigue: A review of criticisms along with new perspectives for the investigation and replication of a multicomponent phenomenon. *Motivation Science*, *8* (1), 19–32. <https://doi.org/10.1037/mot0000262>.
- Francis, Z., & Job, V. (2018). Lay theories of willpower. *Social and Personality Psychology Compass*, *12*, e12381. <https://doi.org/10.1111/spc3.12381>.
- Freeman, N., & Muraven, M. (2010). Self-control depletion leads to increased risk taking. *Social Psychological and Personality Science*, *1* (2), 175–181. <https://doi.org/10.1177/1948550609360421>.
- Gandevia, S.C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological Reviews*, *81* (4), 1725–1789. <https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.4.1725>.
- 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), 100150. <https://doi.org/10.1016/j.penh.2019.100150>.



- Graham, J.D., Sonne, M.W.L., & Bray, S.R. (2014). It wears me out just imagining it! Mental imagery leads to muscle fatigue and diminished performance of isometric exercise. *Biological Psychology*, *103* (1), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2014.07.018>.
- Grier, R.A., Warm, J.S., Dember, W.N., Matthews, G., Galinsky, T.L., Szalma, J.L., & Parasuraman, R. (2003). The vigilance decrement reflects limitations in effortful attention, not mindlessness. *Human Factors*, *45* (3), 349–359. <https://doi.org/10.1518/hfes.45.3.349.27253>.
- Gui, D., Xu, S., Zhu, S., Fang, Z., Spaeth, A.M., Xin, Y., Feng, T., & Rao, H. (2015). Resting spontaneous activity in the default mode network predicts performance decline during prolonged attention workload. *NeuroImage*, *120*, 323–330. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.07.030>.
- Hagger, M.S., Wood, C., Stiff, C., & Chatzisarantis, N.L.D. (2010). Ego depletion and the strength model of self-control: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, *136* (4), 495–525. <https://doi.org/10.1037/a0019486>.
- Head, J.R., Tenan, M.S., Tweedell, A.J., Price, T.F., & LaFiandra, M.E., & Helton, W.S. (2016). Cognitive fatigue influences time-on-task during bodyweight resistance training exercise. *Frontiers in Physiology*, *7*, 373 <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00373>.
- Hei, S., Li, K., Xu, Y., Chen, J., & Liang, W. (2018). Meta-analysis of the efficacy of modafinil versus placebo in the treatment of multiple sclerosis fatigue. *Multiple sclerosis and related disorders*, *19*, 85–89. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2017.10.011>.
- Heinz, A., Daedelow, L.S., Wackerhagen, C., & Di Chiara, G. (2020). Addiction theory matters—Why there is no dependence on caffeine or antidepressant medication. *Addiction Biology*, *25*, e12735. <https://doi.org/10.1111/adb.12735>.
- 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.J. (2011). A motivational control theory of cognitive fatigue. In P.L. Ackerman (Ed.), *Cognitive fatigue: Multidisciplinary perspectives on current research and future applications* (pp. 167–187). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/12343-008>.
- Hockey, G.R.J. (2013). *The Psychology of Fatigue: Work, Effort and Control*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hopstaken, J.F., van der Linden, F D., Bakker, A.B., & Kompier, M.A.J. (2015a). A multifaceted investigation of the link between mental fatigue and task disengagement. *Psychophysiology*, *52* (3), 305–315. <https://doi.org/10.1111/psyp.12339>.
- Hopstaken, J.F., van der Linden, F D., Bakker, A.B., Kompier, M.A.J. (2015b). The window of my eyes: Task disengagement and mental fatigue covary with pupil dynamics. *Biological Psychology*, *110*, 100–106. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2015.06.013>.
- Hu, X., & Lodewijks, G. (2020). Detecting fatigue in car drivers and aircraft pilots by using non-invasive measures: The value of differentiation of sleepiness and mental fatigue. *Journal of Safety Research*, *72*, 173–187. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.12.015>.
- Hunte, R., Cooper, S.B., Taylor, I.M., Nevill, M.E., & Boat, R. (2021). The mechanisms underpinning the effects of self-control exertion on subsequent physical performance: a meta-analysis. *International Review of Sport and Exercise Psychology*. <https://doi.org/10.1080/1750984X2021.2004610>.
- Inzlicht, M., & Berkman, E. (2015). Six questions for the resource model of control (and some answers). *SSRN Electronic Journal*, *10*, 511–524. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2579750>.
- Inzlicht, M., & Schmeichel, B.J. (2012). What is ego depletion? Toward a mechanistic revision of the resource model of self-control. *Perspectives on Psychological Science*, *7* (5), 450–463. <https://doi.org/10.1177/1745691612454134>.
- Inzlicht, M., Schmeichel, B.J., & Macrae, C.N. (2014). <tp:attitle"bibla">Why self-control seems (but may not be) limited. *JT Trends in Cognitive Sciences*, *18* (3), 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.12.009>.
- 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>.
- 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>.
- Job, V., Walton, G.M., Bernecker, K., & Dweck, C.S. (2015). Implicit theories about willpower predict self-regulation and grades in everyday life. *Journal of Personality and Social Psychology*, *108* (4), 637–647. <https://doi.org/10.1037/pspp0000014>.
- Johansson, B., Wentzel, A.-P., Andréll, P., Rönnbäck, L., & Mannheimer, C. (2017). Long-term treatment with methylphenidate for fatigue after traumatic brain injury. *Acta Neurologica Scandinavica*, *135*, 100–107. <https://doi.org/10.1111/ane.12587>.
- Jorgensen, R. (2008). Chronic fatigue: an evolutionary concept analysis. *Journal of Advanced Nursing*, *63* (2), 199–207. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2008.04649.x>.
- Kaseda, Y., Jiang, C.H., Kurokawa, K., Mimori, Y., Nakamura, S. (1998). Objective evaluation of fatigue by event-related potentials. *Journal of the Neurological Sciences*, *158*, 96–100. [https://doi.org/10.1016/s0022-510x\(98\)00100-2](https://doi.org/10.1016/s0022-510x(98)00100-2).
- Kuipers, M., Richter, M., Scheepers, D., Immink, M.A., Sjak-Shie, E., & van Steenbergen, H. (2017). How effortful is cognitive control? Insights from a novel method measuring single-trial evoked beta-adrenergic cardiac reactivity. *International Journal of Psychophysiology*, *119*, 87–92. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.10.007>.
- Kurzban, R. (2010). Does the brain consume additional glucose during self-control tasks? *Evolutionary Psychology*, *8* (2), 244–259. <https://doi.org/10.1177/147470491000800208>.
- Kurzban, R., Duckworth, A., Kable, J.W., & Myers, J. (2013). An opportunity cost model of subjective effort and task performance. *Behavioral and Brain Sciences*, *36* (6), 661–679. [https://doi.org/10.1017/S0140525\(12003196](https://doi.org/10.1017/S0140525(12003196).
- Lacourt, T.E., Vichaya, E.G., Chiu, G.S., Dantzer, R., & Heijnen, C.J. (2018). The high costs of low-grade inflammation: Persistent fatigue as a consequence of reduced cellular-energy availability and non-adaptive energy expenditure. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *12*, 78. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2018.00078>.
- Lambourne, K., & Tomporowski, P. (2010). The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: A meta-regression analysis. *Brain Research*, *1341*, 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.03.091>.
- Lee, K.A., Hicks, G., & Nino-Murcia, G. (1991). Validity and reliability of a scale to assess fatigue. *Psychiatry Research*, *36*, 291–298. [https://doi.org/10.1016/0165-1781\(91\)90027-m](https://doi.org/10.1016/0165-1781(91)90027-m).
- Le Mansec, Y., Pageaux, B., Nordez, A., Dorel, S., & Jubeau, M. (2018). Mental fatigue alters the speed and the accuracy of the ball in table tennis. *Journal of sports sciences*, *36* (23), 2751–2759. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1418647>.

- Lim, J., & Dinges, D.F. (2008). Sleep deprivation and vigilant attention. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1129 (1), 305–322. <https://doi.org/10.1196/annals.1417.002>.
- Lin, H., Saunders, B., Friese, M., Evans, N.J., & Inzlicht, M. (2020). Strong effort manipulations reduce response caution: A preregistered reinvention of the ego-depletion paradigm. *Psychological Science*, 31 (5) 531–547. <https://doi.org/10.1177/0956797620904990>.
- Loprinzi, P.D., Blough, J., Crawford, L., Ryu, S., Zou, L., & Li, H. (2019). The temporal effects of acute exercise on episodic memory function: Systematic review with meta-analysis. *Brain Sciences*, 9 (4). <https://doi.org/10.3390/brainsci9040087>.
- Mackworth, N.H. (1948). The breakdown of vigilance during prolonged visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1 (1), 6–21. <https://doi.org/10.1080/17470214808416738>.
- Mackworth, J.F. (1968). Vigilance, arousal, and habituation. *Psychological Review*, 75, 308–322. <https://doi.org/10.1037/h0025896>.
- MacMahon, C., Schücker, L., Hagemann, N., & Strauss, B. (2014). Cognitive fatigue effects on physical performance during running. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 36, 375–381. <https://doi.org/10.1123/jsep.2013-0249>.
- Mallat, C., Cegarra, J., Calmettes, C., & Capa, R.L. (2020). A curvilinear effect of mental workload on mental effort and behavioral adaptability: An approach with the pre-ejection period. *Human Factors*, 62 (6), 928–939. <https://doi.org/10.1177/0018720819855919>.
- Mangin, T., André, N., Benraiss, A., Pageaux, B., & Audiffren, M. (2021). No ego-depletion effect without a good control task. *Psychology of Sport and Exercise*, 57, 102033. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2021.102033>.
- Marcora, S.M., Staiano, W., & Manning, V. (2009). Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, 106 (3), 857–864. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.91324.2008>.
- Martin, K., Staiano, W., Menaspà, P., Hennessey, T., Marcora, S., Keegan, R., Thompson, K.G., Martin, D., Halson, S., & Rattray, B. (2016). Superior inhibitory control and resistance to mental fatigue in professional road cyclists. *PloS One*, 11, e0159907. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159907>.
- Martin Ginis, F K.A., & Bray, S.R. (2010). Application of the limited strength model of self-regulation to understanding exercise effort, planning and adherence. *Psychology & Health*, 25 (10), 1147–1160. <https://doi.org/10.1080/08870440903111696>.
- Martins, R., & Carvalho, J.M. (2015). Eye blinking as an indicator of fatigue and mental load - A systematic review. In P.M. Arezes, J.S. Baptista, M.P. Barroso, C & P. Carneiro (Eds), *Occupational Safety and Hygiene III* (pp. 231–235). London: Taylor & Francis Group.
- Massar, S.A.A., Wester, A.E., Volkerts, E.R., & Kenemans, J.L. (2010). Manipulation specific effects of mental fatigue: Evidence from novelty processing and simulated driving. *Psychophysiology*, 47 (6), 1119–1126. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2010.01028.x>.
- Matthews, G. (2011). Personality and individual differences in cognitive fatigue. In P.L. Ackerman (Ed.), *Cognitive fatigue: Multidisciplinary perspectives on current research and future applications* (pp. 209–227). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/12343-010>.
- Matuz, A., van der Linden, F D., Kisander, Z., Hernádi, I., Kázmér, K., & Csathó, Á. (2021). Enhanced cardiac vagal tone in mental fatigue: Analysis of heart rate variability in Time-on-Task, recovery, and reactivity. *PLoS ONE*, 16 (3), e0238670. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238670>.
- McMorris, T., Barwood, M., & Corbett, J. (2018). Central fatigue theory and endurance exercise: Toward an interoceptive model. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 93, 93–107. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.03.024>.
- McMorris, T., Barwood, M., Hale, B.J., Dicks, M., & Corbett, J. (2018). Cognitive fatigue effects on physical performance: A systematic review and meta-analysis. *Physiology and Behavior*, 188, 103–107. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.01.029>.
- McGarrigle, R., Dawes, P., Stewart, A.J., Kuchinsky, S.E., & Munro, K.J. (2017). Measuring listening-related effort and fatigue in school-aged children using pupillometry. *Journal of Experimental Child Psychology*, 161, 95–112. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.04.006>.
- Meeusen, R., & Roelands, B. (2018). Fatigue: Is it all neurochemistry? *European Journal of Sport Science*, 18 (1), 37–46. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1296890>.
- Meeusen, R., Watson, P., Hasegawa, H., Roelands, B., & Piacentini, M.F. (2006). Central fatigue. *Sports Medicine*, 36 (10), 881–909. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636100-00006>.
- Meijman, T.F. (1997). Mental fatigue and the efficiency of information processing in relation to work times. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 20, 31–38. [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(96\)00029-7](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(96)00029-7).
- Melo, H.M., Nascimento, L.M., & Takase, E. (2017). Mental fatigue and heart rate variability (HRV): The time-on-task effect. *Psychology & Neuroscience*, 10 (4), 428–436. <http://dx.doi.org/10.1037/pne0000110>.
- Milyavskaya, M., & Inzlicht, M. (2017). What's so great about self-control? Examining the importance of effortful self-control and temptation in predicting real-life depletion and goal attainment. *Social Psychological and Personality Science*, 8 (6), 603–611. <https://doi.org/10.1177/1948550616679237>.
- Moeller S.J., Tomasi, D., Honorio, J., Volkow, N.D., & Goldstein, R.Z. (2012). Dopaminergic involvement during mental fatigue in health and cocaine addiction. *Translational Psychiatry*, 2, e176. <https://doi.org/10.1038/tp.2012.110>.
- Molden, D.C., Hui, C.M., Scholer, A.A., Meier, B.P., Noreen, E. E., D'Agostino, P.R., & Martin, V. (2012). Motivational versus metabolic effects of carbohydrates on self-control. *Psychological Science*, 23 (10), 1137–1144. <https://doi.org/10.1177/0956797612439069>.
- Möller, M.C., Nordin, L.E., Bartfai, A., Julin, P., & Li, T.-Q. (2017). Fatigue and cognitive fatigability in mild traumatic brain injury are correlated with altered neural activity during vigilance test performance. *Frontiers in Neurology*, 8, 496. <https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00496>.
- Müller, T., & Apps, M.A.J. (2019). Motivational fatigue: a neurocognitive framework for the impact of effortful exertion on subsequent motivation. *Neuropsychologia*, 123, 141–151. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.04.030>.
- Muraven, M., Collins, R.L., & Nienhaus, K. (2002). Self-control and alcohol restraint: An initial application of the self-control strength model. *Psychology of Addictive Behaviors*, 16 (2), 113–120. <https://doi.org/10.1037/0893-164X.16.2.113>.
- Muraven, M., Shmueli, D., & Burkley, E. (2006). Conserving self-control strength. *Journal of Personality and Social Psychology*, 91 (3), 524–537. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.91.3.524>.
- Muraven, M., & Slessareva, E. (2003). Mechanisms of self-control failure: Motivation and limited resources. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 29 (7), 894–906. <https://doi.org/10.1177/0146167203029007008>.

- Muraven, M., Tice, D.M., & Baumeister, R.F. (1998). Self-control as limited resource: Regulatory depletion patterns. *Journal of Personality and Social Psychology*, *74* (3), 774–789. <https://doi.org/10.1037//0022-3514.74.3.774>.
- Noakes, T.D. (1997). Challenging beliefs: ex Africa semper aliquid novi. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *29* (5), 571–590. <https://doi.org/10.1097/00005768-199705000-00001>.
- Noakes, T.D. (2012). The Central Governor Model in 2012: Eight new papers deepen our understanding of the regulation of human exercise performance. *British Journal of Sports Medicine*, *46* (1), 1–3. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090811>.
- 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>.
- Otani, H., Kaya, M., Tamaki, A., & Watson, P. (2017). Separate and combined effects of exposure to heat stress and mental fatigue on endurance exercise capacity in the heat. *European Journal of Applied Physiology*, *117*, 119–129. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3504-x>.
- Pageaux, B., & Lepers, R. (2018). The effects of mental fatigue on sport-related performance. In S. Marcora C & B.R. Sarkar (Eds.), *Sport and the Brain: The Science of Preparing, Enduring and Winning, Part C* (Vol. *240*, pp. 291–315). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2018.10.004>.
- Pageaux, B., Lepers, R., Dietz, K.C., & Marcora, S.M. (2014). Response inhibition impairs subsequent self-paced endurance performance. *European Journal of Applied Physiology*, *114*, 1095–1105. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2838-5>.
- Pageaux, B., Marcora, S.M., & Lepers, R. (2013). Prolonged mental exertion does not alter neuromuscular function of the knee extensors. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *45* (12), 2254–2264. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31829b504a>.
- Pattyn, N., Neyt, X., Henderickx, D., & Soetens, E. (2008). Psychophysiological investigation of vigilance decrement: Boredom or cognitive fatigue? *Physiology and Behavior*, *93* (1-2), 369–378. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2007.09.016>.
- Penna, E.M., Filho, E., Wanner, S.P., Campos, B.T., Quinan, G. R., Mendes, T.T., Smith, M.R., & Prado, L.S. (2018). Mental fatigue impairs physical performance in young swimmers. *Pediatric Exercise Science*, *30* (2), 208–215. <https://doi.org/10.1123/pes.2017-0128>.
- Pires, F.O., Silva-Júnior, F.L., Brietzke, C., Franco-Alvarenga, P.E., Pinheiro, F.A., de França, N.M., Teixeira, S., & Meireles Santos, F T. (2018). Mental fatigue alters cortical activation and psychological responses, impairing performance in a distance-based cycling trial. *Frontiers in Physiology*, *9*, 227 <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00227>.
- Pontifex, M.B., McGowan, A.L., Chandler, M.C., Gwizdala, K. L., Parks, A.C., Fenn, K., & Kamijo, K. (2019). A primer on investigating the after effects of acute bouts of physical activity on cognition. *Psychology of Sport and Exercise*, *40* (August 2018) 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2018.08.015>.
- Poulus, A.J., Docter, H.J., & Westra, H.G. (1974). Acid-base balance and subjective feelings of fatigue during physical exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *33* (3), 207–213. <https://doi.org/10.1007/BF00421148>.
- 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*. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01678-z>.
- Ren, P., Anderson, A.J., McDermott, K., Baran, T.M., & Lin, F. (2019). Cognitive fatigue and cortical-striatal network in old age. *Aging*, *11* (8), 2312–2326. <https://doi.org/10.18632/aging.101915>.
- Robertson, I.H., Manly, T., Andrade, J., Baddeley, B.T., & Yiend, J. (1997). “Oops!”: Performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and normal subjects. *Neuropsychologia*, *35* (6), 747–758. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(97\)00015-8](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(97)00015-8).
- 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>.
- Ryan, R.M., & Deci, E.L. (2008). From ego depletion to vitality: Theory and findings concerning the facilitation of energy available to the self. *Social and Personality psychology compass*, *2* (2), 702–717. <https://doi.org/10.1111/j.1751-9004.2008.00098.x>.
- Sanders, A.F. (1983). Towards a model of stress and human performance. *Acta Psychologica*, *53*, 61–97. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(83\)90016-1](https://doi.org/10.1016/0001-6918(83)90016-1).
- Sanders, M.A., Shirk, S.D., Burgin, C.J., & Martin, L.L. (2012). The gargle effect: Rinsing the mouth with glucose enhances self-control. *Psychological Science*, *23* (12), 1470–1472. <https://doi.org/10.1177/0956797612450034>.
- Schmeichel, B.J., Harmon-Jones, C., & Harmon-Jones, E. (2010). Exercising self-control increases approach motivation. *Journal of Personality and Social Psychology*, *99* (1), 162–173. <https://doi.org/10.1037/a0019797>.
- Schmeichel, B.J., & Vohs, K.D. (2009). Self-affirmation and self-control: Affirming core values counteracts ego depletion. *Journal of Personality and Social Psychology*, *96* (4), 770–782. <https://doi.org/10.1037/a0014635>.
- Schmidt, L., Lebreton, M., Cléry-Melin, M.-L., Daunizeau, J., & Pessiglione, M. (2012). Neural mechanisms underlying motivation of mental versus physical effort. *PLoS Biology*, *10* (2), e1001266. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001266>.
- Shenhav, A., Musslick, S., Lieder, F., Kool, W., Griffiths, T.L., Cohen, J.D., & Botvinick M.M. (2017). *Toward a rational and mechanistic account of mental effort*. *Annual Review of Neuroscience*, *40*, 99–124. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-072116-031526>.
- Silvestrini, N., & Rainville, P. (2013). After-effects of cognitive control on pain. *European Journal of Pain* (United Kingdom), *17* (8), 1225–1233. <https://doi.org/10.1002/j.1532-2149.2013.00299.x>.
- Simon, J., Takács, E., Orosz, G., Berki, B., & Winkler, I. (2020). Short-term cognitive fatigue effect on auditory temporal order judgments. *Experimental Brain Research*, *238*, 305–319. <https://doi.org/10.1007/s00221-019-05712-x>.
- Sjåstad, H., & Baumeister, R.F. (2018). The future and the will: Planning requires self-control, and ego depletion leads to planning aversion. *Journal of Experimental Social Psychology*, *76*, 127–141. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2018.01.005>.
- Stadheim, H.K., Stensrud, T., Brage, S., & Jensen, J. (2021). Caffeine increases exercise performance, maximal oxygen uptake, and oxygen deficit in elite male endurance athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *53* (11), 2264–2273. <https://doi.org/10.1249/MSS0000000000002704>.



- Staud, R., Boissoneault, J., Craggs, J.G., Lai, S. & Robinson, M. E. (2018) Task related cerebral blood flow changes of patients with chronic fatigue syndrome: an arterial spin labeling study. *Fatigue: Biomedicine, Health & Behavior*, 6 (2), 63–79. <https://doi.org/10.1080/21641846.2018.1453919>.
- Steinborn, M.B., Flehmig, H.C., Westhoff, K., & Langner, R. (2010). Differential effects of prolonged work on performance measures in self-paced speed tests. *Advances in Cognitive Psychology*, 5, 105–113. <https://doi.org/10.2478/v10053-008-0070-8>.
- Tanaka, M., & Watanabe, Y. (2012). Supraspinal regulation of physical fatigue. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36 (1), 727–734. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.10.004>.
- Tangney, J.P., Baumeister, R.F., & Boone, A.L. (2004). High self-control predicts good adjustment, less pathology, better grades, and interpersonal success. *Journal of Personality*, 2, 54. <https://doi.org/10.1111/j.0022-3506.2004.00263.x>.
- Taylor, J.L., Todd, G., & Gandevia, S.C. (2006). Evidence for a supraspinal contribution to human muscle fatigue. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 33 (4), 400–405. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1681.2006.04363.x>.
- Tomazini, F., Santos-Mariano, A.C., Ferreira dos Santos S Andrade, F V., S Coelho, D.B., Bertuzzi, R., Pereira, G., Silva-Cavalcante, M.D., & S Lima-Silva, A.E. (2022). Caffeine ingestion increases endurance performance of trained male cyclists when riding against a virtual opponent without altering muscle fatigue. *European Journal of Applied Physiology*. <https://doi.org/10.1007/s00421-022-04969-5>.
- 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, e13554. <https://doi.org/10.1111/psyp.13554>.
- Trautman, A. (2021). Mécanismes sous-jacents à la fatigue chronique, un symptôme trop souvent négligé. *Medicine Science (Paris)*, 37, 1047–1054. <https://doi.org/10.1051/medsci/2021170>.
- Trendall, J. (2000). Concept analysis: chronic fatigue. *Journal of Advanced Nursing*, 32 (5), 1126–1131. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2648.2000.01583.x>.
- Tucker, P. (2003). The impact of rest breaks upon accident risk, fatigue and performance: A review. *Work and Stress*, 17, 123–137. <https://doi.org/10.1080/0267837031000155949>.
- Van Cutsem, J., Marcora, S., De Pauw, K., Bailey, S., Meeusen, R., & Roelands, B. (2017). The effects of mental fatigue on physical performance: A systematic review. *Sports Medicine*, 47 (8), 1569–1588. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0672-0>.
- van der Linden, F D. (2011). The urge to stop: The cognitive and biological nature of acute mental fatigue. In P.L. Ackerman (Ed.), *Cognitive fatigue: Multidisciplinary perspectives on current research and future applications* (pp. 149–164). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/12343-007>.
- Wang, M., Ramos, B.P., Paspalas, C.D., Shu, Y., Simen, A., Duque, A., Vijayraghavan, S., Brennan, A., Dudley, A., Nou, E., Mazer, J.A., McCormick, D.A., Arnsten, A.F.T. (2007).  $\alpha$ 2A-adrenoceptors strengthen working memory networks by inhibiting cAMP-HCN channel signaling in prefrontal cortex. *Cell*, 129, 397–410. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2007.03.015>.
- Wang, C., Ding, M., & Kluger, B.M. (2014). Change in intraindividual variability over time as a key metric for defining performance-based cognitive fatigability. *Brain and Cognition*, 85, 251–258. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2014.01.004>.
- Westgate, E.C., & Wilson, T.D. (2018). Boring thoughts and bored minds: The MAC model of boredom and cognitive engagement. *Psychological Review*, 125 (5), 689–713. <https://doi.org/10.1037/rev0000097>.
- Wimmer, M.C., Dome, L., Hancock, P.J.B., & Wennekers, T. (2019). Is the letter cancellation task a suitable index of ego depletion? Empirical and conceptual issues. *Social Psychology*, 50 (5-6), 345-354. <http://dx.doi.org/biblioproxy.uqtr.ca/10.1027/1864-9335/a000393>.
- Wolff, W., Bieleke, M., Martarelli, C.S., & Danckert, J. (2021). A Primer on the role of boredom in self-controlled sports and exercise behavior. *Frontiers in Psychology*, 12, 637839. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.637839>.
- Wolff, W., Sieber, V., Bieleke, M., & Englert, C. (2019). Task duration and task order do not matter: no effect on self-control performance. *Psychological Research*, 85 (1), 397–407. <https://doi.org/10.1007/s00426-019-01230-1>.
- Wylie, G.R., Genova, H.M., DeLuca, J., & Dobryakova, E. (2017). The relationship between outcome prediction and cognitive fatigue: A convergence of paradigms. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 17, 838–849. <https://doi.org/10.3758/s13415-017-0515-y>.
- Yakobi, O., Boylan, J., & Danckert, J. (2021). Behavioral and electroencephalographic evidence for reduced attentional control and performance monitoring in boredom. *Psychophysiology*, 58 (6), 1–12. <https://doi.org/10.1111/psyp.13816>.

**Citation de l'article :** Mangin T, Audiffren M, & André N (2023) Réflexions théoriques et méthodologiques autour du concept de fatigue cognitive. *Mov Sport Sci/Sci Mot*, <https://doi.org/10.1051/sm/2023001>