



HAL
open science

Réflexions théoriques et méthodologiques autour du concept de fatigue cognitive

Thomas Mangin, Michel Audiffren, Nathalie André

► **To cite this version:**

Thomas Mangin, Michel Audiffren, Nathalie André. Réflexions théoriques et méthodologiques autour du concept de fatigue cognitive. *Movement & Sport Sciences - Science & Motricité*, 2023, 120, pp.5-24. 10.1051/sm/2023001 . hal-04276859

HAL Id: hal-04276859

<https://hal.science/hal-04276859v1>

Submitted on 11 Jan 2024

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

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

1 **Réflexions théoriques et méthodologiques autour du concept de fatigue cognitive**

2 **Thomas Mangin^{1,2,3}, Michel Audiffren³, et Nathalie André³**

3 1 Centre de recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal (CRIUGM),
4 Montréal, Canada

5 2 École de kinésiologie et des sciences de l'activité physique (EKSAP), Faculté de Médecine,
6 Université de Montréal, Montréal, Canada

7 3 Centre de Recherches sur la Cognition et l'Apprentissage, UMR CNRS 7295, Université de
8 Poitiers, Poitiers, France

9

10 **Theoretical and methodological reflections on the concept of cognitive fatigue**

11 Abstract (200 words): Daily we realized cognitive tasks that require effort. When these tasks
12 are particularly long and/or effortful, they generally induce cognitive fatigue that decreases
13 the performance in the ongoing task as a function of time-on-task, and the performance in the
14 following task. The cognitive fatigue research field is prolific with more than hundred studies
15 published each year in sport sciences and psychology journals. However, despite that debates
16 about the existence of the detrimental effect of cognitive fatigue on performance and the
17 mechanisms that explain this phenomenon is still ongoing. The aim of this article is first to
18 present the difference between cognitive fatigue and close concepts, such as central fatigue,
19 physical fatigue, or boredom. The second aim is to present the more advanced models that try
20 to explain the phenomenon, with their differences and similarities. Third, the two known
21 methodologies to study cognitive fatigue are presented, in addition to the confounding factors
22 that need to be controlled when an experiment focusing on cognitive fatigue is realized.
23 Finally, the fourth aim of this article is to present the perspectives for future research, such as
24 the synergy between cognitive fatigue's models, the way to reduce cognitive fatigue or the
25 pathologies that can accentuate it.

26 Keywords: ego-depletion, mental fatigue, sequential tasks protocol, time-on-task

27 Acknowledgements: This narrative review has been carried out thanks to the financial support
28 of the Regional Council of New Aquitaine (2020-AAP-UP-ACoRE).

29

30 **Réflexions théoriques et méthodologiques autour du concept de fatigue cognitive**

31 Résumé (200 mots) : Au quotidien nous réalisons des tâches cognitives qui requièrent de
32 l'effort. Quand ces tâches sont particulièrement longues et/ou difficiles, elles induisent
33 généralement de la fatigue cognitive. Cette dernière entraîne une baisse des performances qui
34 s'accroît au cours du temps passé sur la tâche et s'observe dans des tâches subséquentes. Bien
35 que ce champ de recherche soit très prolifique avec des centaines d'études publiées chaque
36 année, l'existence de l'effet délétère de la fatigue cognitive sur la performance ainsi que les
37 mécanismes explicatifs qui sous-tendent cet effet sont encore en débat. Cet article présente
38 dans un premier temps la distinction entre le concept de fatigue cognitive et différents
39 concepts proches tels que ceux de fatigue centrale, de fatigue physique ou encore d'ennui. Par
40 la suite, les grandes théories explicatives de la fatigue cognitive sont abordées, ainsi que leurs
41 divergences et convergences. Les méthodologies employées pour étudier la fatigue cognitive
42 sont aussi explorées, ainsi que les variables confondantes qui doivent être contrôlées lors de la
43 réalisation d'études sur ce sujet. Enfin, les perspectives pour les recherches futures sont
44 explorées notamment les synergies entre les théories explicatives, les moyens de lutter contre
45 la fatigue cognitive aiguë ou encore les pathologies qui peuvent accentuer la fatigue cognitive.

46 Mots-clés : épuisement du Soi, fatigue mentale, protocole des tâches séquentielles, temps
47 passé sur la tâche.

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

50 65 000 caractères – 68 737 caractères espaces compris

51

52 **1. Introduction**

53 Dans le cadre de nos activités professionnelles ou de loisir, il nous est tous un jour arrivé
54 de ressentir de la fatigue cognitive pendant ou suite à la réalisation d'une tâche cognitive de
55 longue durée qui demandait de l'effort mental. Cet état passager s'accompagne généralement
56 d'une baisse de performance dans la tâche en cours ou dans celle qui suit et d'une sensation de
57 manque d'énergie (Brown et al., 2020 ; Dang, 2018 ; Giboin & Wolff, 2019 ; Hagger et al.,
58 2010).

59 La fatigue cognitive, aussi appelée fatigue mentale, induit généralement des effets
60 négatifs lors de la réalisation de tâches cognitives subséquentes. Des individus fatigués
61 cognitivement seront par exemple moins à même de planifier leur avenir (Sjåstad & Baumeister,
62 2018), auront tendance à prendre plus de risque (Freeman & Muraven 2010), auront plus de
63 difficulté à réduire leur consommation d'alcool avant de conduire (Muraven et al., 2002), ou de
64 consommer de la nourriture en présence de mets appétissants (Tangney et al., 2004). La fatigue
65 cognitive peut aussi avoir un impact sur les performances scolaires avec une réduction des notes
66 aux examens (Job et al., 2015).

67 La fatigue cognitive n'est cependant pas un phénomène réservé aux activités cognitives.
68 Elle peut également s'observer au cours d'activités physiques suite à une tâche cognitive
69 induisant de la fatigue. Par exemple, au cours d'épreuves d'endurance sportive, la fatigue
70 cognitive peut se manifester par une réduction de la vitesse de course ou de pédalage ou par un
71 arrêt précoce de l'épreuve (pour plus de détails, voir la revue de littérature de Pageaux & Lepers,
72 2018). Différents travaux de recherche montrent qu'elle peut également conduire à une baisse
73 de la précision spatiale lors de lancers de fléchettes ou de tirs en basket-ball (Englert et al.,
74 2015 ; Englert & Bertrams, 2012), ainsi qu'à une baisse de la vitesse de réaction dans une
75 situation de départ de course (Englert & Bertrams, 2014). En revanche, la fatigue cognitive ne

76 semble pas avoir d'effet sur la force maximale des individus (Brown et al., 2020 ; Mangin et
77 al., 2021).

78 Les tâches impliquant une activité physique peuvent, elles-aussi, induire un effet de
79 fatigue cognitive dans la mesure où elles requièrent un effort mental soutenu. La mise en
80 évidence de la fatigue cognitive induite par l'exercice physique lui-même est plus difficile à
81 réaliser et ce pour deux raisons. Premièrement, les exercices physiques d'intensité modérée à
82 vigoureuse induisent souvent des effets d'améliorations des performances cognitives dans des
83 tâches subséquentes qui sollicitent les fonctions exécutives (Chang et al., 2012 ; Lambourne &
84 Tomporowski, 2010 ; Loprinzi et al., 2019). Cet effet positif de l'exercice qui peut contrecarrer
85 les effets négatifs d'une fatigue cognitive est expliqué soit par une augmentation du débit
86 sanguin cérébral, soit par une augmentation de l'éveil induite par une activation du Locus
87 Coeruleus (Pour une revue complète, voir Pontifex et al., 2019). Deuxièmement, l'exercice
88 physique induisant également une fatigue physique, il va être difficile de dissocier les effets de
89 la fatigue cognitive de ceux de la fatigue physique. Ainsi, la sensation de fatigue ressentie par
90 des participants suite à une tâche physique (Poulus, Docter & Westra, 1974) et la chute de
91 performance observée dans une tâche physique subséquente (Le Mansec et al., 2018) peuvent
92 être attribuées à la fatigue cognitive autant qu'à la fatigue physique. Enfin, la fatigue cognitive
93 a un impact important sur la perception de la douleur et la capacité à supporter une telle douleur
94 (Silvestrini & Rainville, 2013 ; Schmeichel & Vohs, 2009).

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

99 Les mécanismes qui sont à l'origine de la baisse de performance et de la sensation de
100 manque d'énergie qui se manifestent dans un état de fatigue cognitive peuvent être classés en

101 deux grandes familles : les modèles qui considèrent que la fatigue cognitive correspond à une
102 réduction de la capacité à produire et maintenir un effort mental pour des raisons fonctionnelles
103 (i.e., réduction des ressources ou libération de métabolites rendant plus difficile le processus de
104 production d'effort) et ceux qui considèrent qu'elle est d'origine motivationnelle.

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

116 **2. Définitions**

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

120 Les différentes définitions de la fatigue cognitive se rejoignent toutes à quelques nuances
121 près. Ainsi la fatigue cognitive est définie comme « un état psychobiologique causé par une
122 activité cognitive prolongée. Cela peut être caractérisé par une augmentation de la sensation
123 d'affaiblissement ou même d'épuisement, d'une réticence à continuer la tâche en cours et par
124 une réduction des performances cognitives » (Pageaux & Lepers, 2018). Boksem et Tops (2008)
125 précisent que cet état peut apparaître pendant ou après une période d'activité cognitive

126 prolongée et que la baisse de performance est due à une réticence à poursuivre la tâche à
127 accomplir, sans préciser si cette tâche est cognitive. Rozand et Lepers (2017) ajoutent que la
128 durée de la tâche fatigante n'est pas la seule caractéristique à prendre en compte dans
129 l'induction d'une fatigue cognitive. Ils proposent que l'intensité ou difficulté de la tâche
130 fatigante est aussi à considérer.

131 La définition de Pageaux et Lepers (2018), qui est très proche de celle de Boksem et Tops
132 (2008), semble être la plus consensuelle puisqu'elle est utilisée dans de nombreux articles (e.g.,
133 Brown et al., 2020 ; Brown & Bray, 2019 ; Hopstaken et al., 2015 ; Marcora et al., 2009 ;
134 Pageaux, Marcora & Lepers, 2013 ; Pageaux & Lepers, 2018 ; Penna et al., 2018 ; Van Cutsem
135 et al., 2017). Par ailleurs, Hockey (2013) ajoute que la fatigue cognitive est également
136 caractérisée par un état d'éveil faible (e.g., somnolence, ennui) et un état mental non focalisé
137 (e.g., distrait, inattentif). Enfin, dans la littérature, les termes de fatigue cognitive et de fatigue
138 mentale sont généralement vus comme interchangeable (Pageaux & Lepers, 2018). Cependant,
139 certains auteurs maintiennent cette distinction en considérant que la fatigue mentale renvoie à
140 une fatigue plus globale, ne se limitant pas uniquement aux cognitions, mais incluant aussi par
141 exemple les émotions et la motivation (Van Cutsem et al., 2017). Dans cet article, nous
142 garderons le terme de fatigue cognitive, mais concevons les deux termes comme
143 interchangeables.

144 **2.1. Fatigue aiguë et fatigue chronique**

145 Lorsque les auteurs s'intéressent à l'impact de la fatigue cognitive sur les performances
146 (cognitives ou physiques), ils s'intéressent généralement à l'impact de la fatigue aiguë et non à
147 l'impact de la fatigue chronique. Selon Trendall (2000), la fatigue chronique est généralement
148 « induite par le processus d'une maladie ou d'un traitement plutôt que par une activité. Elle a
149 généralement un début insidieux, se cumule et persiste dans le temps. Elle n'est que rarement
150 dissipée par le sommeil, bien que son effet puisse être réduit temporairement par le repos, le

151 changement d'activité, ou la distraction ». De plus, une fatigue n'est considérée comme
152 chronique que si elle est installée depuis une durée d'au moins 6 mois (Jorgensen, 2008). La
153 fatigue chronique, telle que définie ici, ne correspond donc pas à ce que nous avons désigné par
154 le terme de fatigue cognitive. Cependant, une fatigue chronique pourrait accentuer le
155 phénomène de fatigue cognitive aiguë (e.g., Möller et al., 2017 ; Berard et al., 2019). Pour finir,
156 le mécanisme amenant à une fatigue chronique n'est aujourd'hui pas vraiment connu, mais un
157 dérèglement de l'axe hypothalamo-pituitaire-adrénal est une hypothèse avancée (Boksem &
158 Tops, 2008). Cela se produirait par une baisse de la régulation de l'hormone cortisol,
159 responsable de la mobilisation énergétique du corps. A l'inverse de la fatigue chronique, la
160 fatigue aiguë est situationnelle et temporaire et peut être dissipée avec suffisamment de repos
161 (Trendall, 2000). Elle est par ailleurs, la plupart du temps, liée à un effort réalisé dans le cadre
162 d'une activité (van der Linden, 2011). Dans cet article, nous allons nous intéresser à la fatigue
163 cognitive aiguë induite par une activité momentanée requérant un engagement en effort.

164 **2.2. Fatigue physique et fatigue cognitive**

165 Une autre distinction qui demande à être faite est celle qui existe entre fatigue cognitive
166 et fatigue physique. Le terme fatigue physique utilisé par certains auteurs (Evans et al., 2016 ;
167 Tanaka & Watanabe, 2012) renvoie à ce que d'autres appellent la fatigue musculaire (Gandevia,
168 2001). Ce dernier auteur la définit comme « toutes réductions induites par un exercice de la
169 capacité d'un muscle à générer de la force ou de la puissance » et considère qu'elle possède
170 « des causes périphériques et centrales ».

171 La fatigue musculaire peut donc avoir une composante purement périphérique causée par
172 un épuisement des ressources nécessaires à la contraction musculaire tel que le glycogène intra-
173 musculaire, l'ATP ou encore la phosphocréatine (pour une revue, Allen et al., 2008), ou par une
174 accumulation de métabolites (H^+ , P_i) lors de la glycolyse rapide qui vont réduire la capacité du
175 muscle à produire de la force (pour une revue, Ament & Verkerke, 2009 ; Fitts, 2016). Cette

176 fatigue périphérique est définie comme une « fatigue produite par des changements au niveau
177 ou en aval de la jonction neuromusculaire » (Gandevia, 2001). D'un autre côté, la fatigue
178 musculaire peut aussi avoir une composante supra-spinale qui est définie comme « une fatigue
179 produite par l'incapacité à générer une sortie du cortex moteur » que l'on peut considérer
180 comme « un sous-ensemble de fatigue centrale » (Gandevia, 2001). La fatigue supra-spinale
181 serait responsable d'environ 25% de la baisse de force de contraction lors de la fatigue physique
182 (Taylor et al., 2006). Cette fatigue supra-spinale, bien que centrale, n'est pas de même nature
183 que la fatigue cognitive. En effet, la fatigue cognitive comme nous l'avons définie
184 précédemment renvoie à la perception d'un manque d'énergie et d'une baisse de performance
185 causée par une forte et/ou longue sollicitation de l'effort mental et est liée à une baisse de la
186 capacité d'autocontrôle ainsi qu'à une réorientation de la motivation et de l'attention (Forestier
187 et al., 2022 ; Inzlicht & Schmeichel, 2012).

188 Il est par ailleurs possible d'observer une distinction entre la fatigue musculaire et la
189 fatigue cognitive lors de tâche de contractions maximales ou sous-maximales volontaires.
190 Lorsqu'on induit de la fatigue cognitive à l'aide d'une tâche cognitive, il est en effet possible
191 d'observer une baisse de performance dans des tâches motrices d'endurance subséquente
192 faisant intervenir un aspect volitionnel et/ou cognitif tel que la persévérance (Brown et al., 2020 ;
193 Mangin et al., 2021 ; Pageaux & Lepers, 2018). Cet effet n'est généralement pas observé dans
194 le cas de contractions maximales volontaires (Brown et al., 2020 ; Mangin et al., 2021).

195 Dans les tâches de contractions maximales volontaires, la baisse de performance qui est
196 observée par la répétition de la tâche physique peut être causée à la fois par de la fatigue
197 périphérique et de la fatigue centrale. Certains auteurs considèrent que, dans ce cas, la fatigue
198 centrale pourrait être due à une baisse de l'excitabilité des motoneurons venant d'une
199 concentration accrue de neurotransmetteurs dans le milieu extra-cellulaire lors d'activités
200 physiques, dont l'hypothèse principale porte sur la sérotonine et son interaction avec d'autres

201 neurotransmetteurs (Davis et al., 2000 ; McMorris, Barwood, & Corbett, 2018 ; Meeusen et al.,
202 2006 ; Meeusen & Roelands, 2018).

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

209 **2.3. Fatigue cognitive et fatigue centrale**

210 Comme nous venons de le voir, le concept de fatigue centrale est fortement associé à la
211 fatigue physique. Ce concept est aussi bien utilisé dans les sciences médicales (Chaudhuri &
212 Behan, 2004 ; Davis et al., 2000), que dans les sciences du sport et de l'activité physique
213 (Gandevia, 2001 ; McMorris, Barwood, & Corbett, 2018 ; McMorris, Barwood, Hale, et al.,
214 2018 ; Meeusen et al., 2006 ; Pageaux et al., 2013). Cependant, il semblerait que le concept de
215 fatigue centrale tel qu'utilisé dans la littérature médicale renvoie davantage au concept de
216 fatigue cognitive tel qu'on le définit en psychologie (van der Linden, 2011). Cette vision ne
217 semble pas être partagée par les sciences du sport et de l'activité physique qui définissent la
218 fatigue centrale comme « une réduction progressive de l'activation volontaire des muscles
219 pendant un exercice » (Gandevia, 2001).

220 Certains auteurs ont suggéré que la fatigue cognitive et la fatigue centrale partageaient
221 des mécanismes et des aires cérébrales communs, comme par exemple le cortex préfrontal
222 (Martin-Ginis & Bray, 2010). En effet, il semblerait que la fatigue centrale prenne place en
223 amont du cortex prémoteur dans des régions impliquées dans le contrôle exécutif (Bray et al.,
224 2012). De plus, l'idée d'un gouverneur central qui permet de préserver les ressources
225 disponibles de l'organisme lors d'un exercice physique apparaît dans la littérature concernant

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

238 Il semble donc que la fatigue cognitive et la fatigue centrale partagent des zones
239 cérébrales communes impliquées dans la régulation de l'effort, qu'il soit physique ou cognitif.
240 Le gouverneur central utilisé dans le modèle de Noakes présente ainsi de nombreuses analogies
241 avec le cortex cingulaire antérieur impliqué dans la gestion de l'effort mental (Shenhav et al.,
242 2017 ; Müller et Apps, 2019 ; André et al., 2019). Ce système permettrait de contrôler les
243 dépenses d'énergie réalisées par l'organisme en fonction des coûts et des bénéfices associés à
244 l'atteinte du but de la tâche en cours (Boksem & Tops, 2008 ; Shenhav et al., 2017 ; André et
245 al., 2019). On peut cependant retenir que le concept de fatigue centrale est fortement associé à
246 la réduction de la capacité à produire une force musculaire alors que le concept de fatigue
247 cognitive est lié à la réduction de la capacité à produire un effort mental. A ce point du processus
248 de clarification, on peut se demander si l'intensité d'une force musculaire produite est
249 proportionnelle à l'effort investi dans la tâche. Si la réponse est positive, le concept de fatigue
250 cognitive paraît donc plus large que celui de fatigue centrale. Dans cet article nous préférons

251 utiliser le terme de fatigue cognitive, mais considérons qu'il partage des mécanismes communs
252 avec celui de fatigue centrale.

253 **2.4. Fatigue cognitive et épuisement du Soi**

254 L'épuisement du Soi (Ego-depletion, en anglais), étudié principalement en psychologie
255 sociale, est « une réduction de la capacité ou de la volonté du soi à s'engager dans une action
256 volontaire causée par un précédent exercice de la volonté » (Baumeister et al., 1998). Il est
257 également possible de trouver la définition de l'épuisement du Soi comme « un phénomène
258 selon lequel un effort initial d'autocontrôle altère les performances d'autocontrôle ultérieures »
259 (Dang et al., 2017). Dans les deux définitions précitées, le phénomène d'épuisement du Soi se
260 traduit par une baisse de performance dans une seconde tâche suite à la réalisation d'une
261 première tâche qui demande de l'autocontrôle. Ces définitions ont été remises en question par
262 leur manque de précision et de falsifiabilité (Forestier et al., 2022). Ces auteurs proposent à la
263 place la définition suivante « une altération temporaire de la capacité d'autocontrôle causée par
264 un acte initial d'autocontrôle qui avait pour but de résoudre un conflit motivationnel et qui
265 réduit les ressources en autocontrôle, en volonté et / ou en capacité » (Forestier et al., 2022, p.
266 25). Dans cette nouvelle définition, il est donc question de motivation, mais aussi de ressources,
267 de volonté ainsi que de capacités à réaliser l'action.

268 Ces définitions sont très proches de la définition de la fatigue cognitive. La principale
269 différence que l'on peut observer entre les deux définitions porte sur le terme d'autocontrôle.
270 Ainsi, pour certains auteurs, les deux concepts sont suffisamment proches pour qu'ils réfèrent
271 en fin de compte au même phénomène psychologique (Giboin & Wolff, 2019 ; Inzlicht et al.,
272 2014). Certains auteurs préfèrent même le terme de « fatigue d'autocontrôle » à celui
273 « d'épuisement du Soi » puisqu'il s'agit en effet d'une baisse de performance et pas d'un échec
274 total comme cela est renvoyé par le terme d'épuisement (Forestier et al., 2022). Cependant,
275 lorsqu'une distinction est faite entre les deux concepts, c'est régulièrement sur le temps de la

276 tâche épuisante. Ainsi, dans la littérature sur l'épuisement du Soi, les tâches durent en général
277 moins de 30 minutes, alors que dans la littérature sur la fatigue cognitive c'est en général plus
278 de 30 minutes (Brown et al., 2020 ; Giboin & Wolff, 2019).

279 Plusieurs auteurs considèrent tout de même que la fatigue cognitive et l'épuisement du
280 Soi sont les deux versants d'une même pièce, et que la différence de nom provient de la
281 différence du champ de recherche dans lequel il a été employé (Brown et al., 2020 ; Giboin &
282 Wolff, 2019 ; Inzlicht & Berkman, 2015). Toutefois, puisque la baisse de performance observée
283 dans la seconde tâche dans le cadre de la littérature sur l'épuisement du Soi intervient même
284 après une tâche d'induction de fatigue très courte, et puisque la fatigue cognitive semble
285 apparaître après un certain temps passé sur la tâche (> 30 min), il est possible de considérer que
286 la fatigue cognitive peut être une composante du phénomène de l'épuisement du Soi. Ainsi,
287 d'autres mécanismes tels qu'une baisse de motivation (Schmeichel, Harmon-Jones, & Harmon-
288 Jones, 2010), un désengagement de la tâche (Lin et al., 2020), ou des croyances sur le caractère
289 limité des ressources mentales (Francis & Job, 2018), pourraient aussi contribuer au phénomène
290 de baisse de performance dans la condition d'épuisement par comparaison à une condition
291 contrôle (voir partie 4 pour une présentation du protocole utilisé pour étudier l'épuisement du
292 Soi). A l'inverse, d'autres auteurs considèrent que c'est l'épuisement du Soi qui est une forme
293 particulière de fatigue cognitive (Forestier et al., 2022). Les auteurs précisent que la fatigue
294 cognitive peut être induite par n'importe quel type d'activité cognitive comme des opérations
295 mathématiques ou des tâches de mémoire. En revanche l'épuisement du Soi (qu'ils appellent
296 fatigue du contrôle de Soi) ne serait induit que par certaines tâches cognitives spécifiques
297 impliquant un acte d'autocontrôle demandant de l'effort afin de résoudre un conflit
298 motivationnel. Notre point de vue est que ces deux concepts relèvent du même phénomène dans
299 la mesure où la tâche induisant le phénomène demande un effort mental important et qu'elle
300 possède une durée supérieure à 20-30 minutes.

301 **2.5. Fatigue cognitive et variables confondantes**

302 Comme nous l'avons vu précédemment, la fatigue cognitive se produit lorsque les
303 individus réalisent une tâche mentale plus ou moins complexe pendant un temps relativement
304 long. Cependant, des tâches longues peuvent aussi induire d'autres effets, et notamment de
305 l'ennui. En effet, la baisse de vigilance que l'on peut observer avec le temps passé sur la tâche
306 lors de tâche d'attention soutenue est associée à l'expérience subjective de l'ennui (Pattyn et
307 al., 2008). L'ennui qui est défini comme « un état aversif de vouloir sans être capable de
308 s'engager dans une activité satisfaisante » (Eastwood et al., 2012) est associé à une plus grande
309 activation du réseau du mode par défaut (Danckert & Merrifield, 2018 ; Esterman & Rothlein,
310 2019). Ce réseau est un ensemble de régions cérébrales interconnectées qui oriente l'attention
311 et les pensées vers le Soi (e.g., mémoire épisodique, faire des plans pour l'avenir)
312 indépendamment des stimuli extérieurs (Andrews-Hanna, 2012 ; Danckert & Merrifield, 2018).
313 Ce réseau a une plus grande activité lorsque les tâches sont faciles ou déjà connues et maîtrisées
314 par les participants (i.e., automatisées). A tâche égale, une plus grande activation de ce réseau
315 est également corrélée avec de plus faible performances (Andrews-Hanna, 2012). Il est par
316 ailleurs suggéré qu'une plus grande activation de ce réseau serait liée à un désengagement du
317 contrôle exécutif dans la tâche en cours (Danckert & Merrifield, 2018). Une plus grande
318 activation de ce réseau est par ailleurs corrélée avec l'augmentation des temps de réponses au
319 cours du temps passé sur la tâche chez des traumatisés crâniens (Bonnelle et al., 2011), ainsi
320 qu'à une baisse de performance dans la tâche de go/no-go (Yakobi et al., 2021).

321 Ainsi, dans une tâche cognitive longue et monotone, l'ennui pourrait lui aussi expliquer
322 une part significative de la baisse de performance observée en fonction du temps passé sur la
323 tâche. Selon le modèle des composants de sens et d'attention (Westgate & Wilson, 2018),
324 l'ennui amène en effet à un défaut d'attention. L'ennui serait un indicateur pour l'organisme
325 que les ressources ne sont pas correctement allouées et qu'il est nécessaire de se désengager de

326 la tâche en cours afin d'aller vers des tâches plus intéressantes ou pertinentes (Kurzban et al.,
327 2013). Par ailleurs, l'ennui est positivement corrélé avec la sensation de fatigue auto-rapportée
328 (Mangin et al., 2021). Comment démêler l'influence respective de l'ennui et de la fatigue
329 cognitive ? Un moyen possible serait de comparer deux conditions de même durée, l'une
330 utilisant la même tâche pendant toute la durée de l'étude (e.g., tâche de Stroop), l'autre utilisant
331 plusieurs tâches sollicitant la même fonction exécutive (e.g., tâche de Stroop, tâche de Simon,
332 tâche d'Eriksen) mais ayant la même durée que la tâche continue. Cette deuxième condition
333 devrait être associée à moins de monotonie et donc d'ennui vu la variété des tâches utilisées.

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

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

349 **3. Les grandes théories de la fatigue cognitive**

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

355 **3.1. Diminution de ressources**

356 L'une des premières hypothèses qui a été proposée pour expliquer l'apparition de la
357 fatigue cognitive lors de la réalisation d'une tâche mentale a été la diminution des ressources
358 de l'organisme (Baumeister et al., 1998, 2007, 2018 ; Caggiano & Parasuraman, 2004 ;
359 Matthews, 2011). Ainsi avec moins de ressources disponibles, l'organisme à un fonctionnement
360 sous optimal, soit parce que les ressources sont en elles-mêmes limitantes, soit parce que
361 l'organisme préserve les ressources restantes pour des tâches qui seraient plus importantes
362 (Baumeister et al., 2007 ; Muraven et al., 2006). Cependant, le type de ressource qui serait
363 utilisée n'a pas été clairement explicité par les auteurs. Le glucose sanguin, première hypothèse
364 quant à cette ressource limitée, n'est pas une hypothèse qui semble encore valide aujourd'hui
365 (Beedie & Lane, 2012 ; Kurzban, 2010 ; Molden et al., 2012 ; Sanders et al., 2012). Il a été
366 également proposé qu'il est possible d'observer le déclin des ressources liées à la fatigue
367 cognitive au travers de marqueurs physiologiques tels que la fréquence cardiaque, l'activité
368 vagale ou l'activation beta-adrénergique, ou encore à l'aide de marqueurs psychologiques tels
369 que la fatigue perçue ou l'énergie perçue (Forestier et al., 2022).

370 Les modèles en ressources sont à l'heure actuelle des modèles intéressants de par la
371 parcimonie qu'ils amènent et la réponse aux prédictions que l'on peut faire quant à la fatigue
372 cognitive comme par exemple une diminution progressive de la performance avec le temps
373 passé sur la tâche (Ackerman, 2011 ; Boat et al., 2020 ; Brown & Bray, 2017). Cependant, ces

374 modèles souffrent du manque de connaissance de la ou des ressources physiologiques qui
375 seraient impliquées dans l'apparition de la fatigue cognitive.

376 **3.2. Mécanisme synaptique**

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

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

399 forte utilisation du réseau de la saillance, ou qu'une plus grande densité d'ondes thêta
400 préfrontales (indicateurs de l'effort mental engagé dans la tâche) sera observée avec
401 l'augmentation du temps passé sur la tâche afin de compenser la baisse d'efficacité des unités
402 de traitement jusque-là engagées.

403 **3.3. Déactivation du système facilitateur / Suractivation du système inhibiteur**

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

422 **3.4. Réorientation de la motivation et réduction de l'effort investi**

423 D'autres modèles proposent que la baisse de performance que l'on observe dans le cadre
424 de la fatigue cognitive ne soit pas dû à un système de ressources qui s'épuisent lors de la
425 réalisation d'une tâche complexe, mais à une réorientation de l'attention, de la motivation ou
426 encore de l'effort à investir dans la tâche en fonction des coûts et bénéfices à la réalisation de
427 celle-ci (Boksem & Tops, 2008 ; Hockey, 2011 ; Inzlicht et al., 2014 ; Inzlicht & Schmeichel,
428 2012 ; Kurzban et al., 2013 ; Milyavskaya & Inzlicht, 2017). Ainsi, une première tâche
429 cognitive va réduire la motivation à la réalisation d'objectifs distaux et augmenter la motivation
430 à la réalisation d'objectif proximaux (Boat & Cooper, 2019).

431 Hockey (2011) propose également que la fatigue est un état adaptatif qui signale la
432 présence d'un conflit motivationnel dans le contrôle des activités entre la tâche en cours et les
433 tâches alternatives. Ainsi la baisse de performance au cours d'une tâche cognitive peut être dû
434 soit à une baisse de l'activation envers l'objectif, soit à un déplacement de l'attention vers un
435 objectif secondaire.

436 Bien que ces modèles soient intéressants, une récente méta-analyse n'a pas réussi à mettre
437 en évidence que la fatigue cognitive impliquait un changement motivationnel pour la réalisation
438 de la tâche suivante (Hunte et al., 2021).

439 **3.5. Activation du schéma de fatigue**

440 Enfin, un dernier modèle propose que la baisse de performance que l'on observe dans le
441 cadre de la fatigue cognitive serait la conséquence d'activation d'un schéma de fatigue à la suite
442 de la réalisation d'une tâche cognitive complexe (Bertrams, 2020). La perception de l'effort et
443 de l'énergie dépensée lors de la réalisation d'une première tâche conduirait à une activation du
444 schéma mental de la fatigue (i.e., la représentation que l'on en a) ou de schémas concurrents
445 (e.g., schéma de vitalité). Par conséquent, les individus vont se comporter comme s'ils étaient
446 fatigués, même si cela n'est objectivement pas le cas et vont être motivés à économiser de

447 l'énergie. Ce modèle permet d'expliquer la fatigue cognitive vicariante ou imaginée ainsi que
448 la récupération vicariante (Ackerman et al., 2009 ; Egan et al., 2012 ; Graham et al., 2014).
449 Cependant, ce modèle n'a pas encore été mis à l'épreuve et par conséquent souffre pour l'instant
450 d'un manque de données empiriques.

451 **3.6. Antagonisme ou synergie des mécanismes ?**

452 À première vue, tous ces modèles semblent être concurrents quant à l'explication qu'ils
453 donnent du phénomène de fatigue cognitive. Cependant, en y regardant de plus près, ils
454 semblent bien plus complémentaires et synergiques qu'antagonistes. En fait, deux grandes
455 catégories de modèles peuvent être distingués : (1) les modèles qui considèrent que la fatigue
456 cognitive résulte d'une réduction de la capacité à déployer un effort mental (i.e., modèles en
457 ressources, modèle intégratif du contrôle par l'effort, modèle de la double régulation) ; (2) les
458 modèles qui considèrent que la fatigue cognitive résulte d'une baisse de la motivation à
459 déployer un effort mental (modèles coûts-bénéfices, modèle du schéma de fatigue). En fait, on
460 pourrait très bien concevoir que les deux mécanismes soient concomitants : la baisse de la
461 capacité à déployer un effort s'accompagne d'une baisse de la motivation à produire ce même
462 effort. On pourrait également imaginer une relation causale entre les deux mécanismes : la
463 baisse de motivation à déployer un effort est induite par la plus grande difficulté à maintenir un
464 effort mental élevé. Ces deux hypothèses sont tout à fait plausibles si l'on considère que
465 l'adénosine qui s'accumule sous l'effet d'une forte activité cérébrale peut affecter à la fois la
466 voie dopaminergique (e.g., Ferré, 1997) qui détermine la motivation de l'individu à réaliser une
467 tâche et l'activité des neurones préfrontaux impliqués dans le contrôle cognitif nécessaire à la
468 réussite de la tâche (e.g., Wang et al., 2007 ; Arnsten et al., 2010).

469 Par ailleurs, la baisse de connectivité au sein du réseau de la saillance induite par
470 l'accumulation d'adénosine pourrait entraîner une plus grande activation du réseau du mode
471 par défaut ; ce qui entraînerait une réduction du contrôle exécutif des stimuli en lien avec la

472 tâche en cours et une réorientation de la motivation et de l'attention vers des pensées
473 autoréférencées.

474 **4. Méthodologie pour étudier la fatigue cognitive**

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

483 **4.1. Protocoles d'induction de la fatigue cognitive**

484 Deux protocoles, comprenant une tâche qui sollicite fortement l'effort mental, ont été et
485 sont toujours aujourd'hui largement utilisés dans le but d'induire une fatigue cognitive. Le plus
486 ancien est le protocole du temps passé sur la tâche (voir Figure 1), utilisé initialement avec des
487 tâches de vigilance (Mackworth, 1968). Dans ce protocole, le participant est confronté à une
488 tâche mentale de longue durée et sa performance est analysée en fonction du temps passé sur la
489 tâche. Les résultats habituellement observés dans ce type de situation sont une dégradation des
490 performances au fur et à mesure de la tâche (e.g., Boksem et al., 2005 ; Csathó et al., 2012 ;
491 Grier et al., 2003 ; Simon et al., 2020). Le principal inconvénient de ce protocole est qu'il ne
492 permet pas clairement de dissocier les effets de fatigue cognitive et les effets d'ennui ou de
493 baisse du niveau d'éveil induit par la monotonie de la tâche.

494 -----

495 Insérer ici la Figure 1

496 -----

497 Le deuxième protocole, connu sous le nom de protocole des tâches séquentielles, a été
498 introduit par Roy Baumeister et ses collaborateurs (Muraven, Tice, & Baumeister, 1998) pour
499 étudier les défaillances de l'autocontrôle. Il a ensuite été utilisé abondamment en sciences du
500 sport pour étudier les effets de la fatigue cognitive sur les performances physiques (Giboin &
501 Wolff, 2019 ; Brown et al., 2020 ; Hunte et al., 2021). Dans ce protocole, les participants
502 réalisent successivement deux tâches dans deux conditions différentes (voir Figure 2). La
503 première tâche peut solliciter fortement (tâche d'épuisement) ou faiblement l'effort mental
504 (tâche contrôle). Cette première tâche est suivie d'une deuxième tâche (tâche dépendante) qui
505 demande également de l'effort mental et qui est identique dans les deux conditions décrites
506 précédemment. Si la tâche d'épuisement induit réellement une fatigue cognitive et que la tâche
507 contrôle sollicite faiblement l'effort mental, la performance dans la tâche dépendante doit être
508 plus faible après la tâche d'épuisement.

509

510

Insérer ici la Figure 2

511

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

519 Le protocole des tâches séquentielles est plus lourd à mettre en place que le protocole du
520 temps passé sur la tâche. En effet, il faut que les expérimentateurs veillent à plusieurs
521 précautions méthodologiques : (1) la tâche dépendante doit faire l'objet d'un apprentissage

522 conséquent, (2) la tâche contrôle doit être soigneusement choisie (i.e., faible sollicitation de
523 l'effort mental), (3) la tâche d'épuisement doit être suffisamment longue et solliciter fortement
524 l'effort mental, (4) l'investissement en effort mental doit être contrôlé lors de la réalisation de
525 la tâche d'épuisement et lors de la tâche contrôle avec des indices psychophysologiques. Ce
526 dernier point privilégie le plan à mesures répétées afin de réduire la variabilité interindividuelle
527 qui est assez grande dans le cas des indices psychophysologiques. Le protocole du temps passé
528 sur la tâche et le protocole des tâches séquentielles peuvent être combinés si on étudie
529 l'évolution des performances au cours de la tâche d'épuisement en fonction du temps passé sur
530 la tâche.

531 **4.2. Mesures de la fatigue cognitive**

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

537 Les mesures subjectives se réalisent généralement avant et après la réalisation de la tâche
538 qui induit la fatigue cognitive et parfois aussi après la tâche dépendante dans le protocole des
539 tâches séquentielles. La fatigue subjective se mesure à l'aide d'échelles visuelles-analogiques
540 à item unique (e.g., Wylie et al., 2017 ; Staud et al., 2018 ; Mangin et al., 2021) ou à l'aide de
541 questionnaires validés comprenant plusieurs items (e.g., Lee, Hicks, & Nino-Murcia, 1991).

542 Les mesures comportementales s'effectuent pendant la tâche d'induction de la fatigue
543 cognitive ou pendant la tâche dépendante. Ce sont principalement des mesures de performance.
544 En ce qui concerne la tâche d'induction de la fatigue cognitive, on s'attend à observer une
545 dégradation de la performance en fonction du temps passé sur la tâche. Trois types d'indices de
546 performance peuvent être utilisés : les indices de vitesse de traitement de l'information, tel que

547 la moyenne ou la médiane du temps de réaction (TR ; e.g., Berard et al., 2019), les indices de
548 précision, tels que le taux de réponses incorrectes (e.g., Asplund & Chee, 2013) et les indices
549 de variabilité de la performance, tels que l'écart-type ou le paramètre Tau de la distribution de
550 TR (e.g., Steinborn et al., 2010 ; Wang et al., 2014). Ces trois indices augmentent généralement
551 au cours du temps passé sur la tâche. En ce qui concerne la tâche dépendante, si elle est
552 cognitive, on peut utiliser le même type d'indices que pour la tâche d'épuisement. En revanche,
553 si elle est physique d'autres types d'indices doivent être privilégiés, tels que le temps jusqu'à
554 épuisement dans les épreuves sous-maximales (e.g., Marcora et al., 2009 ; Azevedo et al., 2016 ;
555 Otani et al., 2017), la distance parcourue ou le travail effectué dans les épreuves de temps limite
556 (e.g., Martin et al., 2016 ; Brown & Bray, 2018), le temps mis pour réaliser une distance fixe
557 dans les épreuves de contre la montre (e.g., MacMahon et al., 2014 ; Pageaux et al., 2014 ;
558 Penna et al., 2018 ; Pires et al., 2018), et le nombre de répétitions dans les épreuves de résistance
559 musculaire (e.g., Dorris et al., 2012 ; Head et al., 2016). D'autres indices comportementaux
560 peuvent également être utilisés au cours de la tâche d'induction de la fatigue tels que le nombre
561 de clignotements des yeux (e.g., Martins & Carvalho, 2015) qui lui aussi va augmenter avec le
562 temps passé sur la tâche et reflète ainsi une moins bonne capacité à se contrôler (e.g., Abi-
563 Jaoude et al., 2018).

564 Les mesures psychophysiologiques se font généralement durant la tâche d'induction de
565 la fatigue cognitive. Elles ont pour principal objectif de contrôler l'engagement en effort mental
566 au cours de la tâche. Deux stratégies d'engagement de l'effort mental sont attendues au cours
567 d'une tâche de longue durée sollicitant fortement l'effort mental : (1) un désengagement de
568 l'effort mental au cours de la tâche qui coïncide avec une détérioration progressive de la
569 performance, (2) un engagement de plus en plus important en effort mental afin de compenser
570 les effets négatifs de la fatigue et maintenir le niveau de performance (effort compensatoire).
571 Deux grandes catégories d'indices psychophysiologiques sont utilisés pour contrôler

572 l'investissement en effort mental : (1) les indices qui reflètent le niveau d'activité du système
573 sympathique, le raisonnement étant que plus l'effort mental est élevé, plus la demande en
574 énergie est importante, plus le système sympathique est activé, (2) les indices qui reflètent le
575 niveau d'activité du réseau de la saillance qui sous-tend l'effort mental, le raisonnement étant
576 que plus l'effort mental est élevé, plus le signal de contrôle est puissant et plus l'activité
577 neuronale qui le sous-tend sera intense.

578 L'activité du système sympathique est principalement mesurée à partir de trois indices
579 psychophysiques : (1) la taille de la pupille (elle diminue avec l'installation de la fatigue
580 cognitive ; e.g., Hopstaken et al., 2015 ; McGarrigle et al., 2017 ; Bafna & Hansen, 2021), (2)
581 la variabilité de la fréquence cardiaque qui évalue davantage l'activité du système
582 parasympathique (elle augmente avec la présence de fatigue cognitive ; e.g., Melo et al., 2017 ;
583 Matuz et al., 2021), et (3) la période de pré-éjection (elle augmente si elle reflète un
584 désengagement de l'effort et elle diminue si elle reflète un effort compensatoire ; e.g., Kuipers
585 et al., 2017 ; Mallat et al., 2020). Les indices psychophysiques de l'activité du réseau de
586 la saillance sont quant à eux mesurés à l'aide de l'électro-encéphalographie et sont au nombre
587 de deux : (1) la densité des ondes thêta préfrontales (elle augmente avec le temps passé sur la
588 tâche et la fatigue cognitive ; e.g., Borghini et al., 2014 ; Tran et al., 2020 ; Arnau et al., 2021),
589 et (2) l'amplitude ou la latence de l'onde P300 (la latence augmente et l'amplitude diminue en
590 présence de fatigue cognitive ; e.g., Kaseda et al., 1998 ; Chinnadurai et al., 2016). Il peut être
591 intéressant d'avoir plusieurs mesures simultanées du même phénomène pour évaluer la
592 cohérence des données recueillies.

593 Enfin, les mesures d'imagerie cérébrale vont davantage permettre de déterminer les
594 mécanismes neurophysiologiques à l'œuvre dans le phénomène de fatigue cognitive. Deux
595 catégories d'étude en imagerie cérébrale contribuent à la compréhension des mécanismes qui
596 sous-tendent la fatigue cognitive. Premièrement, les études utilisant l'imagerie par résonance

597 magnétique fonctionnelle (IRMf) d'activation. Dans ce cas, l'acquisition des images IRM se
598 fait généralement pendant la tâche d'induction de la fatigue et les hypothèses portent sur le
599 patron d'activations des zones cérébrales impliquées dans la tâche cognitive (e.g., Breckel,
600 Giessing, & Thiel, 2011 ; Moeller et al., 2012 ; Ren et al., 2019). Deuxièmement, les études
601 utilisant IRMf de repos dans lesquelles l'acquisition des images se fait avant et après la tâche
602 d'induction de fatigue cognitive. Les hypothèses portent ici sur la connectivité au sein et entre
603 les réseaux neuronaux, tels que le réseau de la saillance, le réseau exécutif et le réseau du mode
604 par défaut (e.g., Breckel et al., 2013 ; Esposito et al., 2014 ; Gui et al., 2015).

605 **4.3. Influence des caractéristiques de la tâche d'épuisement sur la fatigue cognitive**

606 Les différentes théories présentées en section 3 prédisent que la fatigue cognitive est
607 d'autant plus importante que la durée et la difficulté de la tâche d'épuisement sont élevées. Les
608 études utilisant le protocole du temps passé sur la tâche ont clairement montré que la
609 performance se détériorait d'autant plus que la tâche était longue (voir section 2.1). En revanche,
610 peu d'études ont cherché à déterminer le rôle de la durée de la tâche d'épuisement dans le cadre
611 du protocole des tâches séquentielles. Une première étude, réalisée par Wolff et al. (2019), n'a
612 pas permis de mettre en évidence un effet de la durée de la tâche d'épuisement sur les
613 performances dans une tâche cognitive subséquente. Dans cette étude, les auteurs faisaient
614 varier la nature (tâche de Stroop ou tâche de transcription) et la durée (2, 4, 8, ou 16 min) de la
615 tâche d'épuisement. A l'inverse, deux autres études utilisant une tâche physique comme
616 seconde tâche ont mis en évidence une baisse de performance progressive avec le temps passé
617 sur la première tâche (Boat et al., 2020 ; Brown & Bray, 2017). Pour l'étude de Brown et Bray
618 (2017), la durée de la première tâche variait de 0 à 10 minutes par tranche de 2 minutes. Les
619 auteurs ont pu mettre en évidence une baisse de performance après 6 minutes de temps passé
620 sur la tâche. Cependant, la performance ne s'est pas avérée différente pour les durées situées
621 entre 6 et 10 minutes. Dans l'étude de Boat et al. (2020), la durée de la tâche variait entre 4 et

622 16 minutes. Les auteurs ont pu mettre en évidence une baisse de performance dans la tâche
623 dépendante plus importante avec l'augmentation de la durée de la tâche d'épuisement. Dans ces
624 trois études, la fatigue subjective mesurée de manière auto-rapportée augmentait de manière
625 proportionnelle au temps passé sur la tâche.

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

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

638 Peu d'études se sont intéressées aux effets de la difficulté de la tâche qui induit la fatigue
639 cognitive sur l'amplitude de cet effet de fatigue cognitive. Des tâches simples et monotones,
640 telles que la tâche de l'horloge de Mackworth (1948), la tâche d'attention soutenue à répondre
641 (Robertson et al., 1997) et la tâche de vigilance psychomotrice (Lim & Dinges, 2008) suffisent
642 à induire un effet de fatigue cognitive. On peut donc se demander si le phénomène de fatigue
643 cognitive s'accroît lorsque la difficulté de la tâche qui induit la fatigue cognitive augmente.
644 Dans deux études utilisant le protocole du temps passé sur la tâche, Borragán et al. (2017)
645 manipulent deux paramètres de la difficulté de la tâche : la complexité de la tâche de n-back (1-
646 back vs. 0-back) et la pression temporelle (i.e., temps disponible pour traiter l'information). Ces

647 auteurs montrent que la fatigue cognitive augmente en fonction de la pression temporelle, mais
648 pas en fonction de la complexité de la tâche. Enfin, Massar et al. (2010) s'intéressent aux effets
649 de la complexité d'une tâche n-back (0-back vs. 2-back) de 90 minutes sur la performance
650 d'une tâche subséquente de conduite. Ils montrent que l'amplitude de l'onde P3a mesurée à
651 l'aide de l'EEG, et qui est un indice de la disponibilité des ressources attentionnelles, est plus
652 faible au cours de la tâche de conduite après la tâche 2-back. En revanche, ils ne parviennent
653 pas à montrer un effet de fatigue cognitive sur la tâche de conduite. Cet ensemble de résultats
654 suggère que la fatigue cognitive semble plus sensible à la pression temporelle qu'à la
655 complexité de la tâche qui induit la fatigue.

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

668 **5. Perspectives futures**

669 Parmi les travaux de recherche qui restent à réaliser sur la thématique de la fatigue
670 cognitive, trois grandes orientations stratégiques semblent particulièrement intéressantes à
671 poursuivre dans les années à venir avec des retombées à la fois dans le domaine de la recherche

672 fondamentale et dans celui de la recherche appliquée. Le premier ensemble de recherches
673 chercherait à démêler la contribution des deux principaux mécanismes aujourd'hui suspectés
674 d'être à l'origine de la fatigue cognitive : baisse de la motivation vs. réduction des capacités
675 fonctionnelles à produire un effort mental. Le deuxième lot de recherches se focaliserait sur les
676 moyens de lutter contre la fatigue cognitive aiguë. Enfin, le troisième ensemble de recherches
677 aurait pour objectif de comprendre les interactions entre la fatigue chronique et la fatigue aiguë.

678 **5.1. Comment démêler la contribution des deux principaux mécanismes à l'origine de la** 679 **fatigue cognitive ?**

680 Comme nous l'avons vu dans la section 3, deux principaux mécanismes peuvent
681 contribuer au phénomène de la fatigue cognitive : (1) une baisse de la capacité fonctionnelle à
682 produire un effort mental ; (2) une baisse de la motivation à déployer un effort mental du fait
683 de coûts élevés et de bénéfices insuffisants. Pour déterminer la contribution relative de chacun
684 de ces mécanismes, il faudra tout d'abord posséder des indicateurs de l'implication de ces
685 mécanismes dans la même étude expérimentale.

686 Examinons en premier lieu, les indicateurs neurophysiologiques qui pourraient être
687 utilisés pour indexer le premier mécanisme. Trois biomarqueurs pourraient être utilisés : (1) le
688 niveau d'activation du réseau du mode par défaut grâce à l'IRMf d'activation pendant la tâche
689 d'induction de la fatigue cognitive en fonction du temps passé sur la tâche (e.g., Bonnelle et al.,
690 2011) ; (2) la connectivité entre le réseau du mode par défaut et le réseau du contrôle exécutif
691 grâce à l'IRMf de repos avant et après la tâche d'induction de la fatigue cognitive (e.g., Gui et
692 al., 2015) ; (3) la concentration d'adénosine dans des régions préfrontales impliquées dans la
693 tâche d'induction de la fatigue cognitive grâce à la tomographie par émission de positons (TEP ;
694 Elmenhorst et al., 2007, 2012, 2017). On s'attend respectivement, à une augmentation de
695 l'activation du réseau du mode par défaut avec le temps passé sur la tâche, à une augmentation
696 de la connectivité entre le réseau du mode par défaut et le réseau du contrôle exécutif après la

697 tâche fatigante et à une augmentation de la concentration d'adénosine dans les régions d'intérêt
698 après la tâche fatigante.

699 La mesure du troisième biomarqueur nécessite l'utilisation de la TEP. Pour cela, un
700 radioligand, le [¹⁸F]8-cyclopentyl-3-(3-fluoropropyl)-1-propylxanthine ou CFPX, est injecté
701 à chaque participant avant la réalisation de la tâche d'induction de la fatigue cognitive. Le
702 radioligand se fixe sur les récepteurs de l'adénosine A₁ (A₁AR). En examinant la concentration
703 du radioligand dans une région d'intérêt (e.g., les zones préfrontales ou le striatum) à l'aide de
704 la TEP et en la rapportant à celle mesurée dans le plasma, on obtient un indice du volume de
705 distribution du radioligand et du taux de disponibilité des récepteurs A₁. Plus la concentration
706 d'adénosine dans une région d'intérêt est élevée, plus le taux de disponibilité des récepteurs A₁
707 et donc le volume de distribution du radioligand est faible.

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

713 En ce qui concerne la motivation à réaliser la tâche d'induction de la fatigue cognitive ou
714 la tâche dépendante, deux types d'indicateurs peuvent être utilisés : (1) un score auto-rapporté
715 de motivation mesuré avant de réaliser la tâche ; (2) l'activation du striatum ventral mesurée à
716 l'aide de l'IRMf pendant la réalisation de la tâche (Schmidt et al., 2012). Là encore, il est
717 recommandé de calculer la corrélation entre ces deux variables.

718 Une fois toutes ces variables recueillies, une analyse de régression multiple pourrait être
719 réalisée avec, d'une part, le déclin de performance due à la fatigue cognitive ou l'augmentation
720 de la perception de fatigue comme variable dépendante et, d'autre part, l'indicateur
721 neurophysiologique de la baisse de capacité à déployer un effort mental et l'indicateur du niveau

722 de motivation à réaliser la tâche comme variables prédictives. Le pourcentage de variance
723 expliquée par chacun des indicateurs pourrait permettre de connaître la part contributive de
724 chacun des mécanismes présentés plus haut au phénomène de fatigue cognitive.

725 **5.2. Quelles pistes explorer pour réduire la fatigue cognitive ?**

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

736 Une première solution pour réduire la fatigue cognitive dans le cas d'une tâche de longue
737 durée consiste à scinder la tâche en plusieurs parties entrecoupées de courtes pauses passives
738 (i.e., périodes de repos, massages, relaxation en écoutant de la musique) ou actives (i.e.,
739 activités physiques, exercices de pleine conscience). Il a en effet été clairement établi que de
740 courtes périodes de repos permettaient de maintenir un niveau de performance compatible avec
741 l'objectif à atteindre et d'éviter une accumulation de fatigue sur une longue période de travail
742 (pour une revue de question, Tucker, 2003). Plusieurs études réalisées dans des situations de
743 travail plus écologiques ont confirmé les bénéfices de pauses régulières, généralement toutes
744 les heures, sur la fatigue et le bien-être physique et psychologique (Bhatia & Murrell, 1969 ;
745 Boucsein & Thum, 1997 ; Dababneh, Swanson, & Shell, 2001 ; Faucett et al., 2007 ; Meijman,
746 1997). Très peu d'études ont jusqu'à présent examiné la plus-value de pauses actives incluant

747 des exercices physiques (e.g., Oberste et al., 2021 ; Jacquet et al., 2021) ou des exercices de
748 pleine conscience (e.g., Axelsen et al., 2020). L'étude de l'effet de ces pauses actives sur le
749 réseau du mode par défaut serait une piste de recherche très intéressante dans l'avenir.

750 Une deuxième solution consiste à prendre des drogues stimulantes qui vont atténuer le ou
751 les mécanismes neurophysiologiques à l'origine de la fatigue cognitive. Par exemple, la caféine
752 est la substance psychoactive la plus utilisée. Plusieurs études ont montré qu'une ingestion de
753 caféine permettait une amélioration des performances dans les exercices d'endurance (Azevedo
754 et al., 2016 ; Stadheim et al., 2021 ; Tomazini et al., 2022 ; pour une revue de questions,
755 Albrecht & Andrade, 2018), des tâches très sensibles à la fatigue cognitive. La caféine réduirait
756 la fatigue en se fixant sur les récepteurs membranaires A₁ et en bloquant l'action de l'adénosine
757 (Davis et al., 2002). D'autres drogues psychostimulantes, tels que le modafinil et le
758 méthylphénidate, sont par exemple utilisées comme traitement de longue durée pour réduire les
759 effets de la fatigue chronique dans le cas de la sclérose en plaque pour le premier (Hei et al.,
760 2018) et dans le cas des traumatismes crâniens pour le second (Johansson et al., 2016).
761 L'utilisation de la caféine comme contremesure de la fatigue cognitive possède cependant un
762 principal inconvénient dans le cas d'une consommation régulière : un effet d'habituation qui se
763 traduit par une augmentation de la tolérance à la substance psychoactive et donc à une réduction
764 de ses effets bénéfiques (Beaumont et al., 2017 ; Heinz et al., 2018). Dans l'avenir, il serait
765 particulièrement intéressant d'utiliser la caféine pour vérifier qu'elle joue bien un rôle
766 déterminant dans le blocage des molécules d'adénosine s'accumulant suite à une fatigue
767 cognitive.

768 Enfin, une troisième et dernière solution consiste à utiliser des facteurs motivationnels
769 afin d'augmenter les bénéfices immédiats associés à la réalisation de la tâche. Plusieurs facteurs
770 ont montré leur efficacité dans ce domaine : les feedbacks (Sanders, 1983) et les récompenses
771 (Herlambang et al., 2019) donnés au cours d'une tâche de longue durée, ainsi que le plaisir

772 éprouvé au cours de cette tâche (Herlambang et al., 2021), permettent d'annuler les effets du
773 temps passé sur la tâche. Enfin, selon la théorie de l'auto-détermination (Ryan & Deci, 2008),
774 lorsque des individus réalisent des activités qui répondent à leurs besoins psychologiques
775 fondamentaux (i.e., compétence, appartenance sociale, autonomie), cela leur permettrait
776 d'augmenter l'énergie qu'ils investissent dans ces activités. Ces effets confirment que la fatigue
777 cognitive possède une composante motivationnelle. L'implication du système dopaminergique
778 mésolimbique dans la réduction de la fatigue cognitive serait à tester dans l'avenir.

779 **5.3. Comment étudier les interactions entre fatigue chronique et fatigue aiguë**

780 Comme nous l'avons vu plus haut, la fatigue cognitive peut être passagère et réactionnelle
781 après une activité intense ou lors d'une brève infection. Elle peut également être durable, ou
782 chronique lorsqu'elle est associée à une maladie comme le cancer, le diabète ou encore les
783 maladies cardiovasculaires, ou une souffrance psychique comme la dépression ou le burnout.
784 La fatigue chronique fait référence à une incapacité à initier et / ou à maintenir des tâches
785 attentionnelles (fatigue cognitive) et activités physiques (fatigue physique) nécessitant une
786 motivation personnelle (par opposition à une stimulation externe) en l'absence de toute faiblesse
787 motrice cliniquement détectable ou démence (Chaudhuri & Behan, 2000).

788 Si la littérature sur ces deux formes de fatigue est plutôt bien documentée (Boksem &
789 Tops, 2008, pour la fatigue aiguë ; Chaudhuri & Behan, 2000, pour la fatigue chronique), en
790 revanche, les liens entre la fatigue aiguë et la fatigue chronique restent encore très peu explorés.
791 En effet, la fatigue chronique est généralement étudiée une fois installée. Pourtant, quelques
792 facteurs peuvent venir expliquer la chronicisation de la fatigue et ses liens avec la fatigue aiguë.
793 En particulier, les mécanismes inflammatoires associés aux maladies ou pathologies ont été
794 largement étudiés dans la prévalence de la fatigue chronique (e.g., Lacourt et al., 2018 ;
795 Trautman, 2021) mais sans nécessairement effectuer de liens avec la fatigue cognitive aiguë.
796 Un certain nombre de données semblent corroborer le lien entre inflammation, stress et fatigue

797 chronique. Par exemple, l'exposition continue et répétée à des conditions fatigantes comme la
798 récurrence des pensées négatives, l'inquiétude liée à la maladie, la douleur chronique, sont
799 autant de conditions pouvant accentuer la fatigue cognitive aiguë.

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

808 D'autres mécanismes doivent être explorés comme la modification durable de la
809 connectivité cérébrale, modification dont on peut supposer qu'elle soit en partie initiée par une
810 répétition de fatigues aiguës. Par exemple, une revue de questions récente de André et al. (2021)
811 examinant les relations entre la fatigue chronique et l'activation cérébrale dans des tâches
812 sollicitant les fonctions exécutives chez des patients atteints d'un cancer ont mis en évidence
813 une activation du réseau du mode par défaut et une diminution de l'activité dans les régions
814 impliquées dans les tâches en cours (e.g., réseau du contrôle exécutif), entraînant des pertes
815 d'attention et une diminution des performances. Le désengagement des régions cérébrales
816 associées à l'effort mental (i.e., le réseau de la saillance) et l'activation des régions cérébrales
817 liées au réseau du mode par défaut pourrait avoir pour but de détourner l'attention de la tâche
818 en cours afin de préserver les ressources mentales. Ainsi, des études doivent être menées afin
819 d'examiner le lien entre la fatigue cognitive aiguë et la fatigue chronique en considérant les
820 effets de la fatigue cognitive aiguë sur l'affaiblissement de la connectivité cérébrale, notamment

821 entre le réseau du mode par défaut et les deux principaux réseaux activés lors de la réalisation
822 de tâches cognitives (i.e., le réseau de la saillance et le réseau du contrôle exécutif).

823 **6. Conclusions**

824 Comme nous l'avons vu dans cet article, la recherche sur la fatigue cognitive est encore
825 en plein développement. Il existe pourtant encore deux débats autour de l'effet de baisse de
826 performances lors de la présence de fatigue cognitive. Premièrement, le débat sur l'existence
827 de l'effet semble venir en partie de problèmes conceptuels, notamment la distinction entre
828 différents concept associés à la fatigue cognitive mais relevant de mécanismes distincts (e.g.,
829 somnolence, ennui). Dans cet article nous avons justement essayé de préciser les distinctions et
830 ressemblances entre ces différents concepts qui gravitent autour du phénomène de fatigue
831 cognitive. Le débat sur l'existence de l'effet d'épuisement du Soi, que l'on retrouve
832 particulièrement en psychologie sociale, peut également venir de problèmes méthodologiques.
833 Ces derniers peuvent être résolus en contrôlant les variables confondantes, et également en
834 mesurant la fatigue cognitive avec des mesures subjectives, psychophysiologiques et
835 comportementales simultanément. Les caractéristiques de la tâche en termes de durée et de
836 complexité auraient également un impact sur la taille de l'effet de la fatigue. Ainsi, des tâches
837 trop courtes ou pas assez fatigantes réduirait la probabilité de répliation. Deuxièmement, le
838 débat porte également sur les mécanismes et par conséquent les théories qui cherchent à
839 expliquer la fatigue cognitive. Ces théories évoquent des mécanismes qui ne sont pas
840 antagonistes et qui pourraient au contraire être synergiques. Une approche intégrative pourrait
841 permettre à l'avenir de créer un modèle plus complet, expliquant mieux les résultats observés
842 dans la littérature. Enfin, cet article propose des perspectives de recherche afin de cibler les
843 mécanismes qui permettraient de se protéger de la fatigue cognitive au quotidien, ainsi que sa
844 chronicisation lorsque la fatigue cognitive aiguë est récurrente, ce qui pourrait permettre
845 d'éviter un mal-être pour des milliers d'individus notamment dans les cas de pathologies ayant

846 comme comorbidité de la fatigue cognitive chronique. Ainsi la fatigue cognitive est une
847 thématique en pleine mutation théorique et méthodologique. Plusieurs pistes de recherche
848 futures sont encore à explorer afin de mieux comprendre ce phénomène complexe.

849 **Références**

- 850 Abi-Jaoude, E., Segura, B., Cho, S. S., Crawley, A., & Sandor, P. (2018). The neural
851 correlates of self-regulatory fatigability during inhibitory control of eye blinking. *The*
852 *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 30(4), 325-333. DOI:
853 [10.1176/appi.neuropsych.17070140](https://doi.org/10.1176/appi.neuropsych.17070140)
- 854 Ackerman, J. M., Goldstein, N. J., Shapiro, J. R., & Bargh, J. A. (2009). You wear me out:
855 The vicarious depletion of self-control. *Psychological Science*, 20(3), 326-332.
856 <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2009.02290.x>
- 857 Ackerman, P. L. (Ed.) (2011). *Cognitive Fatigue: Multidisciplinary Perspectives on Current*
858 *Research and Future Applications*. American Psychological Association.
859 <https://doi.org/10.1037/12343-000>
- 860 Albrecht, K., & Andrade, J. (2018). Effects of caffeine consumption on endurance exercise: A
861 systematic review. *The International Journal of Sport and Society*, 9(4), 1-15.
862 <http://doi.org/10.18848/2152-7857/CGP/v09i04/1-15>
- 863 Allen, D. G., Lamb, G. D., & Westerblad, H. (2008). Skeletal muscle fatigue: Cellular
864 mechanisms. *Physiological Reviews*, 88(1), 287-332.
865 <https://doi.org/10.1152/physrev.00015.2007>
- 866 Ament, W., & Verkerke, G.J. (2009). Exercise and fatigue. *Sports Medicine*, 39(5), 389-422.
867 doi: 10.2165/00007256-200939050-00005
- 868 André, N., Audiffren, M., & Baumeister, R. F. (2019). An integrative model of effortful
869 control. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 13, 79.
870 <https://doi.org/10.3389/fnsys.2019.00079>

- 871 André, N., & Baumeister, F. R. (2022). Three pathways into chronic lack of energy as a
872 mental health complaint. *European Journal of Health Psychology*.
873 <https://doi.org/10.1027/2512-8442/a000123>
- 874 André N., Gastinger, S., & Rébillard, A. (2021). Chronic fatigue in cancer, brain connectivity
875 and reluctance to engage in physical activity: A mini-review. *Frontiers in Oncology*, *11*,
876 774347. <https://doi.org/10.3389/fonc.2021.774347>
- 877 Andrews-Hanna, J. R. (2012). The brain's default network and its adaptive role in internal
878 mentation. *The Neuroscientist*, *18*(3), 251-270. doi: 10.1177/1073858411403316
- 879 Arnau, S., Brümmer, T., Liegel, N., & Wascher, E. (2021). Inverse effects of time-on-task in
880 task-related and task-unrelated theta activity. *Psychophysiology*, *58*, e13805.
881 <https://doi.org/10.1111/psyp.13805>
- 882 Arnsten, A. F. T., Paspalas, C. D., Gamo, N. J., Yang, Y., & Wang, M. (2010). Dynamic
883 network connectivity: A new form of neuroplasticity. *Trends in Cognitive Sciences*, *14*,
884 365-375. doi: 10.1016/j.tics.2010.05.003.
- 885 Asplund, C. L., & Chee, M. W. L. (2013). Time-on-task and sleep deprivation effects are
886 evidenced in overlapping brain areas. *NeuroImage*, *82*, 326-335.
887 <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.05.119>
- 888 Axelsen, J. L., Kirk, U., & Staiano, W. (2020). On-the-spot binaural beats and mindfulness
889 reduces the effect of mental fatigue. *Journal of Cognitive Enhancement*, *4*(1), 31-39.
890 <https://doi.org/10.1007/s41465-019-00162-3>
- 891 Azevedo, R., Silva-Cavalcante, M. D., Gualano, B., Lima-Silva, A. E., & Bertuzzi, R. (2016).
892 Effects of caffeine ingestion on endurance performance in mentally fatigued
893 individuals. *European Journal of Applied Physiology*, *116*, 2293-2303.
894 <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3483-y>

- 895 Bafna, T., & Hansen, J. P. (2021). Mental fatigue measurement using eye metrics: A
896 systematic literature review. *Psychophysiology*, *58*, e13828.
897 <https://doi.org/10.1111/psyp.13828>
- 898 Balkin, T. J., & Wesensten, N. J. (2011). Differentiation of sleepiness and mental fatigue
899 effects. In P. L. Ackerman (Ed.), *Cognitive fatigue: Multidisciplinary perspectives on*
900 *current research and future applications* (pp. 47-66). American Psychological
901 Association. <https://doi.org/10.1037/12343-002>
- 902 Baumeister, R. F., Bratslavsky, E., Muraven, M., & Tice, D. M. (1998). Ego depletion: Is the
903 active self a limited resource? *Journal of Personality and Social Psychology*, *74*(5),
904 1252-1265. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.74.5.1252>
- 905 Baumeister, R. F., Tice, D. M., & Vohs, K. D. (2018). The strength model of self-regulation:
906 Conclusions from the second decade of willpower research. *Perspectives on*
907 *Psychological Science*, *13*(2), 141–145. <https://doi.org/10.1177/1745691617716946>
- 908 Baumeister, R. F., Vohs, K. D., & Tice, D. M. (2007). The strength model of self-control.
909 *Current Directions in Psychological Science*, *16*(6), 351–355.
910 <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2007.00534.x>
- 911 Beaumont, R., Cordery, P., Funnell, M., Mears, S., James, L., & Watson, P. (2017). Chronic
912 ingestion of a low dose of caffeine induces tolerance to the performance benefits of
913 caffeine. *Journal of Sports Sciences*, *35*(19), 1920-1927. doi:
914 10.1080/02640414.2016.1241421.
- 915 Beedie, C. J., & Lane, A. M. (2012). The role of glucose in self-control: Another look at the
916 evidence and an alternative conceptualization. *Personality and Social Psychology*
917 *Review*, *16*(2), 143–153. <https://doi.org/10.1177/1088868311419817>
- 918 Berard, J. A., Fang, Z., Walker, L. A. S., Lindsay-Brown, A., Osman, L., Cameron, I., Cruce,
919 R., Cron, G. O., Freedman, M. S., & Smith, A. M. (2019). Imaging cognitive

- 920 fatigability in multiple sclerosis: objective quantification of cerebral blood flow during a
921 task of sustained attention using ASL perfusion fMRI. *Brain Imaging and Behavior*,
922 *14*(6), 2417-2428. <https://doi.org/10.1007/s11682-019-00192-7>
- 923 Bertrams, A. (2020). A schema-activation approach to failure and success in self-control.
924 *Frontiers in Psychology*, *11*, 2256. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.02256>
- 925 Bhatia, N., & Murrell, K. F. H. (1969). An industrial experiment in organized rest pauses.
926 *Human Factors*, *11*, 167-173. <https://doi.org/10.1177/001872086901100210>
- 927 Boat, R., & Cooper, S. B. (2019). Self-control and exercise: A review of the bi-directional
928 relationship. *Brain Plasticity*, *5*, 97-104. <https://doi.org/10.3233/BPL-190082>
- 929 Boat, R., Hunte, R., Welsh, E., Dunn, A., Treadwell, E., & Cooper, S. B. (2020).
930 Manipulation of the duration of the initial self-control task within the sequential-task
931 paradigm: Effect on exercise performance. *Frontiers in Neuroscience*, *14*, 571312.
932 <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.571312>
- 933 Boat, R., & Taylor, I. M. (2017). Prior self-control exertion and perceptions of pain during a
934 physically demanding task. *Psychology of Sport and Exercise*, *33*, 1-6.
935 <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2017.07.005>
- 936 Boksem, M. A. S., Meijman, T. F., & Lorist M. M. (2015). Effects of mental fatigue on
937 attention: An ERP study. *Cognitive Brain Research*, *25*, 107-116. doi:
938 10.1016/j.cogbrainres.2005.04.011
- 939 Boksem, M. A. S., & Tops, M. (2008). Mental fatigue: Costs and benefits. *Brain Research*
940 *Reviews*, *59*(1), 125-139. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2008.07.001>
- 941 Bonnelle, V., Leech, R., Kinnunen, K. M., Ham, T. E., Beckmann, C. F., de Boissezon, X.,
942 Greenwood, R. J., & Sharp, D. J. (2011). Default mode network connectivity predicts
943 sustained attention deficits after traumatic brain injury. *Journal of Neuroscience*,
944 *31*(38), 13442-13451. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1163-11.2011>

- 945 Borghini, G., Astolfi, L., Vecchiato, G., Mattia, D., & Babiloni, F. (2014). Measuring
946 neurophysiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental
947 workload, fatigue and drowsiness. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *44*, 58-75.
948 <http://dx.doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.10.003>
- 949 Borragán, G., Slama, H., Bartolomei, M., & Peigneux, P. (2017). Cognitive fatigue: A time-
950 based resource-sharing account. *Cortex*, *89*, 71-84.
951 <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.01.023>
- 952 Boucsein, W., & Thum, M. (1997). Design of work/rest schedules for computer work based
953 on psychophysiological recovery measures. *International Journal of Industrial*
954 *Ergonomics*, *20*, 51-57. [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(96\)00031-5](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(96)00031-5)
- 955 Bray, S. R., Graham, J. D., Martin Ginis, K. A., & Hicks, A. L. (2012). Cognitive task
956 performance causes impaired maximum force production in human hand flexor
957 muscles. *Biological Psychology*, *89*(1), 195-200.
958 <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2011.10.008>
- 959 Bray, S. R., Martin Ginis, K. A., Hicks, A. L., & Woodgate, J. (2008). Effects of self-
960 regulatory strength depletion on muscular performance and EMG activation.
961 *Psychophysiology*, *45*(2), 337-343. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2007.00625.x>
- 962 Breckel, T. P. K., Giessing, C., & Thiel, C. M. (2011). Impact of brain networks involved in
963 vigilance on processing irrelevant visual motion. *NeuroImage*, *55*, 1754-1762.
964 <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.01.025>
- 965 Breckel, T. P. K., Thiel, C. M., Bullmore, E. T., Zalesky, A., Patel, A. X., & Giessing, C.
966 (2013). Long-term effects of attentional performance on functional brain network
967 topology. *PLoS ONE*, *8*(9), e74125. doi: 10.1371/journal.pone.0074125

- 968 Brosschot, J., Piepera, S., & Thayer, J. (2005). Expanding stress theory: Prolonged activation
969 and perseverative cognition. *Psychoneuroendocrinology*, *30*, 1043-1049. doi:
970 10.1016/j.psyneuen.2005.04.008
- 971 Brown, D. M. Y., & Bray, S. R. (2017). Graded increases in cognitive control exertion reveal
972 a threshold effect on subsequent physical performance. *Sport, Exercise, and*
973 *Performance Psychology*, *6*(4), 355-369. <https://doi.org/10.1037/spy0000091>
- 974 Brown, D. M., & Bray, S. R. (2018). Effects of mental fatigue on exercise intentions and
975 behavior. *Annals of Behavioral Medicine*, *53*, 405-14.
976 <https://doi.org/10.1093/abm/kay052>
- 977 Brown, D. M. Y., & Bray, S. R. (2019). Effects of Mental Fatigue on Exercise Intentions and
978 Behavior. *Annals of Behavioral Medicine*, *53*(5), 405-414.
979 <https://doi.org/10.1093/abm/kay052>
- 980 Brown, D. M. Y., Graham, J. D., Innes, K. I., Harris, S., Flemington, A., & Bray, S. R.
981 (2020). Effects of prior cognitive exertion on physical performance: A systematic
982 review and meta-analysis. *Sports Medicine*, *50*(3), 497-529.
983 <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01204-8>
- 984 Caggiano, D. M., & Parasuraman, R. (2004). The role of memory representation in the
985 vigilance decrement. *Psychonomic Bulletin & Review*, *11*(5), 932-937.
986 <https://doi.org/10.3758/BF03196724>
- 987 Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., & Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise
988 on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research*, *1453*(250), 87–101.
989 <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2012.02.068>
- 990 Chaudhuri, A., & Behan, P. O. (2000). Fatigue and basal ganglia. *Journal of the Neurological*
991 *Sciences*, *179*, 34-42. doi: 10.1016/s0022-510x(00)00411-1

- 992 Chaudhuri, A., & Behan, P. O. (2004). Fatigue in neurological disorders. *The Lancet*,
993 363(9413), 978-988. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(04\)15794-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(04)15794-2)
- 994 Chinnadurai, S. A., Venkatesan, S. A., Shankar, G., Samivel, B., & Ranganathan, L. N.
995 (2016). A study of cognitive fatigue in Multiple Sclerosis with novel clinical and
996 electrophysiological parameters utilizing the event related potential P300. *Multiple*
997 *Sclerosis and Related Disorders*, 10, 1-6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.msard.2016.08.001>
- 998 Csathó, Á., van der Linden, D., Hernádi, I., Buzás, P., & Kalmár, G. (2012). Effects of mental
999 fatigue on the capacity limits of visual attention. *Journal of Cognitive Psychology*,
1000 24(5), 511-524. doi: 10.1080/20445911.2012.658039
- 1001 Curtis, J., Burkley, E., & Burkley, M. (2014). The rhythm is gonna get you: The influence of
1002 circadian rhythm synchrony on self-control outcomes. *Social and Personality*
1003 *Psychology Compass*, 8(11), 609-625. <https://doi.org/10.1111/spc3.12136>
- 1004 Dababneh, A. J., Swanson, N., & Shell, R. L. (2001). Impact of added rest breaks on the
1005 productivity and well-being of workers. *Ergonomics*, 44, 164-174. doi:
1006 10.1080/00140130121538
- 1007 Danckert, J., & Merrifield, C. (2018). Boredom, sustained attention and the default mode
1008 network. *Experimental Brain Research*, 236(9), 2507-2518.
1009 <https://doi.org/10.1007/s00221-016-4617-5>
- 1010 Dang, J. (2018). An updated meta-analysis of the ego depletion effect. *Psychological*
1011 *Research*, 82(4), 645-651. <https://doi.org/10.1007/s00426-017-0862-x>
- 1012 Dang, J., Liu, Y., Liu, X., & Mao, L. (2017). The ego could be depleted, providing initial
1013 exertion is depleting: A preregistered experiment of the ego depletion effect. *Social*
1014 *Psychology*, 48(4), 242-245. <https://doi.org/10.1027/1864-9335/a000308>

- 1015 Davis, J. M., Alderson, N. L., & Welsh, R. S. (2000). Serotonin and central nervous system
1016 fatigue: nutritional considerations. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 72(2),
1017 573S-578S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/72.2.573S>
- 1018 Davis, J. M., Zhao, Z., Stock, H. S., Mehl, K. A., Buggy, J., & Hand, G. A. (2002). Central
1019 nervous system effects of caffeine and adenosine on fatigue. *American Journal of*
1020 *Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 284, R399-R404. doi:
1021 10.1152/ajpregu.00386.2002
- 1022 Dorris, D. C., Power, D. A., Kenefick, E. (2012). Investigating the effects of ego depletion on
1023 physical exercise routines of athletes. *Psychology of Sport and Exercise*, 13, 118-125.
1024 <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2011.10.004>
- 1025 Eastwood, J. D., Frischen, A., Fenske, M. J., & Smilek, D. (2012). The unengaged mind:
1026 Defining boredom in terms of attention. *Perspectives on Psychological Science*, 7(5),
1027 482-495. <https://doi.org/10.1177/1745691612456044>
- 1028 Englert, C., & Bertrams, A. (2012). Anxiety, ego depletion, and sports performance. *Journal*
1029 *of Sport and Exercise Psychology*, 34(5), 580-599. <https://doi.org/10.1123/jsep.34.5.580>
- 1030 Englert, C., & Bertrams, A. (2014). The effect of ego depletion on sprint start reaction time.
1031 *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 36(5), 506-515.
1032 <https://doi.org/10.1123/jsep.2014-0029>
- 1033 Englert, C., Bertrams, A., Furley, P., & Oudejans, R. R. D. (2015). Is ego depletion associated
1034 with increased distractibility? Results from a basketball free throw task. *Psychology of*
1035 *Sport and Exercise*, 18(1), 26-31. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2014.12.001>
- 1036 Egan, P. M., Hirt, E. R., & Karpen, S. C. (2012). Taking a fresh perspective: Vicarious
1037 restoration as a means of recovering self-control. *Journal of Experimental Social*
1038 *Psychology*, 48(2), 457-465. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2011.10.019>

- 1039 Elmenhorst, D., Meyer, P. T., Winz, O. H., Matusch, A., Ermert, J., Coenen, H. H., Basheer,
1040 R., Haas, H. L., Zilles, K., & Bauer, A. (2007). Sleep deprivation increases A1
1041 adenosine receptor binding in the human brain: A positron emission tomography study.
1042 *The Journal of Neuroscience*, 27(9), 2410-2415.
1043 <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5066-06.2007>
- 1044 Elmenhorst, D., Meyer, P. T., Matusch, A., Winz, O. H., & Bauer, A. (2012). Caffeine
1045 occupancy of human cerebral A1 adenosine receptors: In vivo quantification with 18F-
1046 CFPFX and PET. *The Journal of Nuclear Medicine*, 53, 1723-1729.
1047 <https://doi.org/10.2967/jnumed.112.105114>
- 1048 Elmenhorst, D., Elmenhorst, E.-M., Hennecke, E., Kroll, T., Matusch, A., Aeschbach, D., &
1049 Bauer, A. (2017). Recovery sleep after extended wakefulness restores elevated A1
1050 adenosine receptor availability in the human brain. *Proceedings of the National*
1051 *Academy of Sciences*, 114(16) 4243-4248.
1052 <https://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1614677114>
- 1053 Esposito, F., Otto, T., Zijlstra, F. R. H., & Goebel, R. (2014). Spatially distributed effects of
1054 mental exhaustion on resting-state fMRI networks. *PLoS ONE*, 9(4), e94222. doi:
1055 10.1371/journal.pone.0094222
- 1056 Esterman, M., & Rothlein, D. (2019). Models of sustained attention. *Current Opinion in*
1057 *Psychology*, 29, 174-180. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2019.03.005>
- 1058 Evans, D. R., Boggero, I. A., & Segerstrom, S. C. (2016). The nature of self-regulatory
1059 fatigue and “ego depletion”: Lessons from physical fatigue. *Personality and Social*
1060 *Psychology Review*, 20(4), 291-310. <https://doi.org/10.1177/1088868315597841>
- 1061 Farmer, R., & Sundberg, N. D. (1986). Boredom proneness – The development and correlates
1062 of a new scale. *Journal of Personality Assessment*, 50(1), 4-17. doi:
1063 10.1207/s15327752jpa5001_2

- 1064 Faucett, J., Meyers, J., Miles, J., Janowitz, I., & Fathallah, F. (2007). Rest break interventions
1065 in stoop labor tasks. *Applied Ergonomics*, *38*, 219-226. doi:
1066 10.1016/j.apergo.2006.02.003
- 1067 Ferré, S. (1997). Adenosine-dopamine interactions in the ventral striatum: Implications for the
1068 treatment of schizophrenia. *Psychopharmacology*, *133*, 107-120. doi:
1069 10.1007/s002130050380
- 1070 Fitts, R. H. (2016). The role of acidosis in fatigue: Pro perspective. *Medicine and Science in*
1071 *Sports and Exercise*, *48*(11), 2335-2338. doi: 10.1249/MSS.0000000000001043
- 1072 Forestier, C., de Chanaleilles, M., Boisgontier, M. P., & Chalabaev, A. (2022). From ego
1073 depletion to self-control fatigue: A review of criticisms along with new perspectives for
1074 the investigation and replication of a multicomponent phenomenon. *Motivation Science*,
1075 *8*(1), 19-32. <https://doi.org/10.1037/mot0000262>
- 1076 Francis, Z., & Job, V. (2018). Lay theories of willpower. *Social and Personality Psychology*
1077 *Compass*, *12*, e12381. <https://doi.org/10.1111/spc3.12381>
- 1078 Freeman, N., & Muraven, M. (2010). Self-control depletion leads to increased risk taking.
1079 *Social Psychological and Personality Science*, *1*(2), 175-181.
1080 <https://doi.org/10.1177/1948550609360421>
- 1081 Gandevia, S. C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue.
1082 *Physiological Reviews*, *81*(4), 1725-1789.
1083 <https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.4.1725>
- 1084 Giboin, L. S., & Wolff, W. (2019). The effect of ego depletion or mental fatigue on
1085 subsequent physical endurance performance: A meta-analysis. *Performance*
1086 *Enhancement and Health*, *7*(1-2), 100150. <https://doi.org/10.1016/j.peh.2019.100150>
- 1087 Graham, J. D., Sonne, M. W. L., & Bray, S. R. (2014). It wears me out just imagining it!
1088 Mental imagery leads to muscle fatigue and diminished performance of isometric

- 1089 exercise. *Biological Psychology*, *103*(1), 1-6.
1090 <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2014.07.018>
- 1091 Grier, R. A., Warm, J. S., Dember, W. N., Matthews, G., Galinsky, T. L., Szalma, J. L., &
1092 Parasuraman, R. (2003). The vigilance decrement reflects limitations in effortful
1093 attention, not mindlessness. *Human Factors*, *45*(3), 349-359.
1094 <https://doi.org/10.1518/hfes.45.3.349.27253>
- 1095 Gui, D., Xu, S., Zhu, S., Fang, Z., Spaeth, A. M., Xin, Y., Feng, T., & Rao, H. (2015). Resting
1096 spontaneous activity in the default mode network predicts performance decline during
1097 prolonged attention workload. *NeuroImage*, *120*, 323-330.
1098 <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.07.030>
- 1099 Hagger, M. S., Wood, C., Stiff, C., & Chatzisarantis, N. L. D. (2010). Ego depletion and the
1100 strength model of self-control: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, *136*(4), 495-
1101 525. <https://doi.org/10.1037/a0019486>
- 1102 Head, J. R., Tenan, M. S., Tweedell, A. J., Price, T. F., & LaFiandra, M. E., & Helton, W. S.
1103 (2016). Cognitive fatigue influences time-on-task during bodyweight resistance training
1104 exercise. *Frontiers in Physiology*, *7*, 373. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00373>
- 1105 Hei, S., Li, K., Xu, Y., Chen, J., & Liang, W. (2018). Meta-analysis of the efficacy of
1106 modafinil versus placebo in the treatment of multiple sclerosis fatigue. *Multiple*
1107 *sclerosis and related disorders*, *19*, 85-89. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2017.10.011>
- 1108 Heinz, A., Daedelow, L. S., Wackerhagen, C., & Di Chiara, G. (2020). Addiction theory
1109 matters—Why there is no dependence on caffeine or antidepressant medication.
1110 *Addiction Biology*, *25*, e12735. <https://doi.org/10.1111/adb.12735>
- 1111 Herlambang, M. B., Cnossen, F., & Taatgen, N. A. (2021). The effects of intrinsic motivation
1112 on mental fatigue. *PLoS ONE*, *16*(1), e0243754.
1113 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243754>

- 1114 Herlambang, M. B., Taatgen, N. A., & Cnossen, F. (2019). The role of motivation as a factor
1115 in mental fatigue. *Human Factors*, 61(7), 1171-1185. doi: 10.1177/0018720819828569
- 1116 Hockey, G. R. J. (2011). A motivational control theory of cognitive fatigue. In P. L.
1117 Ackerman (Ed.), *Cognitive fatigue: Multidisciplinary perspectives on current research*
1118 *and future applications* (pp. 167–187). American Psychological Association.
1119 <https://doi.org/10.1037/12343-008>
- 1120 Hockey, G. R. J. (2013). *The Psychology of Fatigue: Work, Effort and Control*. Cambridge:
1121 Cambridge University Press.
- 1122 Hopstaken, J. F., van der Linden, D., Bakker, A. B., & Kompier, M. A. J. (2015). A
1123 multifaceted investigation of the link between mental fatigue and task disengagement.
1124 *Psychophysiology*, 52(3), 305–315. <https://doi.org/10.1111/psyp.12339>
- 1125 Hopstaken, J. F., van der Linden, D., Bakker, A. B., Kompier, M. A. J. (2015). The window
1126 of my eyes: Task disengagement and mental fatigue covary with pupil dynamics.
1127 *Biological Psychology*, 110, 100-106. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2015.06.013>
- 1128 Hu, X., & Lodewijks, G. (2020). Detecting fatigue in car drivers and aircraft pilots by using
1129 non-invasive measures: The value of differentiation of sleepiness and mental fatigue.
1130 *Journal of Safety Research*, 72, 173-187. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.12.015>
- 1131 Hunte, R., Cooper, S. B., Taylor, I. M., Nevill, M. E., & Boat, R. (2021). The mechanisms
1132 underpinning the effects of self-control exertion on subsequent physical performance: a
1133 meta-analysis. *International Review of Sport and Exercise Psychology*.
1134 <https://doi.org/10.1080/1750984X.2021.2004610>
- 1135 Inzlicht, M., & Berkman, E. (2015). Six questions for the resource model of control (and
1136 some answers). *SSRN Electronic Journal*, 10, 511-524.
1137 <https://doi.org/10.2139/ssrn.2579750>

- 1138 Inzlicht, M., & Schmeichel, B. J. (2012). What is ego depletion? Toward a mechanistic
1139 revision of the resource model of self-control. *Perspectives on Psychological Science*,
1140 7(5), 450-463. <https://doi.org/10.1177/1745691612454134>
- 1141 Inzlicht, M., Schmeichel, B. J., & Macrae, C. N. (2014). Why self-control seems (but may not
1142 be) limited. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(3), 127-133.
1143 <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.12.009>
- 1144 Ishii, A., Tanaka, M., & Watanabe, Y. (2014). Neural mechanisms of mental fatigue. *Reviews*
1145 *in the Neurosciences*, 25(4), 469–479. doi: 10.1515/revneuro-2014-0028
- 1146 Jacquet, T., Poulin-Charronnat, B., Bard, P., Perra, J., & Lepers, R. (2021). Physical activity
1147 and music to counteract mental fatigue. *Neuroscience*, 478, 75-88.
1148 <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2021.09.019>
- 1149 Job, V., Walton, G. M., Bernecker, K., & Dweck, C. S. (2015). Implicit theories about
1150 willpower predict self-regulation and grades in everyday life. *Journal of Personality*
1151 *and Social Psychology*, 108(4), 637-647. <https://doi.org/10.1037/pspp0000014>
- 1152 Johansson, B., Wentzel, A.-P., Andréll, P., Rönnbäck, L., & Mannheimer, C. (2017). Long-
1153 term treatment with methylphenidate for fatigue after traumatic brain injury. *Acta*
1154 *Neurologica Scandinavica*, 135, 100-107. doi: 10.1111/ane.12587
- 1155 Jorgensen, R. (2008). Chronic fatigue: an evolutionary concept analysis. *Journal of Advanced*
1156 *Nursing*, 63(2), 199-207. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2008.04649.x>
- 1157 Kaseda, Y., Jiang, C. H., Kurokawa, K., Mimori, Y., Nakamura, S. (1998). Objective
1158 evaluation of fatigue by event-related potentials. *Journal of the Neurological Sciences*,
1159 158, 96-100. doi: 10.1016/s0022-510x(98)00100-2
- 1160 Kuipers, M., Richter, M., Scheepers, D., Immink, M. A., Sjak-Shie, E., & van Steenbergen,
1161 H. (2017). How effortful is cognitive control? Insights from a novel method measuring

- 1162 single-trial evoked beta-adrenergic cardiac reactivity. *International Journal of*
1163 *Psychophysiology*, 119, 87-92. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.10.007>
- 1164 Kurzban, R. (2010). Does the brain consume additional glucose during self-control tasks?
1165 *Evolutionary Psychology*, 8(2), 244-259. <https://doi.org/10.1177/147470491000800208>
- 1166 Kurzban, R., Duckworth, A., Kable, J. W., & Myers, J. (2013). An opportunity cost model of
1167 subjective effort and task performance. *Behavioral and Brain Sciences*, 36(6), 661-679.
1168 <https://doi.org/10.1017/S0140525X12003196>
- 1169 Lacourt, T. E., Vichaya, E. G., Chiu, G. S., Dantzer, R., & Heijnen, C. J. (2018). The high
1170 costs of low-grade inflammation: Persistent fatigue as a consequence of reduced
1171 cellular-energy availability and non-adaptive energy expenditure. *Frontiers in*
1172 *Behavioral Neuroscience*, 12, 78. doi: 10.3389/fnbeh.2018.00078
- 1173 Lambourne, K., & Tomporowski, P. (2010). The effect of exercise-induced arousal on
1174 cognitive task performance: A meta-regression analysis. *Brain Research*, 1341, 12–24.
1175 <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.03.091>
- 1176 Lee, K. A., Hicks, G., & Nino-Murcia, G. (1991). Validity and reliability of a scale to assess
1177 fatigue. *Psychiatry Research*, 36, 291-298. doi: 10.1016/0165-1781(91)90027-m
- 1178 Le Mansec, Y., Pageaux, B., Nordez, A., Dorel, S., & Jubeau, M. (2018). Mental fatigue
1179 alters the speed and the accuracy of the ball in table tennis. *Journal of sports sciences*,
1180 36(23), 2751-2759. doi: 10.1080/02640414.2017.1418647
- 1181 Lim, J., & Dinges, D. F. (2008). Sleep deprivation and vigilant attention. *Annals of the New*
1182 *York Academy of Sciences*, 1129(1), 305-322. <https://doi.org/10.1196/annals.1417.002>
- 1183 Lin, H., Saunders, B., Friese, M., Evans, N. J., & Inzlicht, M. (2020). Strong effort
1184 manipulations reduce response caution: A preregistered reinvention of the ego-depletion
1185 paradigm. *Psychological Science*, 31(5) 531-547.
1186 <https://doi.org/10.1177/0956797620904990>

- 1187 Loprinzi, P. D., Blough, J., Crawford, L., Ryu, S., Zou, L., & Li, H. (2019). The temporal
1188 effects of acute exercise on episodic memory function: Systematic review with meta-
1189 analysis. *Brain Sciences*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/brainsci9040087>
- 1190 Mackworth, N. H. (1948). The breakdown of vigilance during prolonged visual search.
1191 *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1(1), 6-21.
1192 <https://doi.org/10.1080/17470214808416738>
- 1193 Mackworth, J. F. (1968). Vigilance, arousal, and habituation. *Psychological Review*, 75, 308-
1194 322. <https://doi.org/10.1037/h0025896>
- 1195 MacMahon, C., Schücker, L., Hagemann, N., & Strauss, B. (2014). Cognitive fatigue effects
1196 on physical performance during running. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 36,
1197 375-381. <https://doi.org/10.1123/jsep.2013-0249>
- 1198 Mallat, C., Cegarra, J., Calmettes, C., & Capa, R. L. (2020). A curvilinear effect of mental
1199 workload on mental effort and behavioral adaptability: An approach with the pre-
1200 ejection period. *Human Factors*, 62(6), 928-939.
1201 <https://doi.org/10.1177/0018720819855919>
- 1202 Mangin, T., André, N., Benraiss, A., Pageaux, B., & Audiffren, M. (2021). No ego-depletion
1203 effect without a good control task. *Psychology of Sport and Exercise*, 57, 102033.
1204 <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2021.102033>
- 1205 Marcora, S. M., Staiano, W., & Manning, V. (2009). Mental fatigue impairs physical
1206 performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, 106(3), 857-864.
1207 <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.91324.2008>
- 1208 Martin, K., Staiano, W., Menaspà, P., Hennessey, T., Marcora, S., Keegan, R., Thompson, K.
1209 G., Martin, D., Halson, S., & Rattray, B. (2016). Superior inhibitory control and
1210 resistance to mental fatigue in professional road cyclists. *PloS One*, 11, e0159907.
1211 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159907>

- 1212 Martin Ginis, K. A., & Bray, S. R. (2010). Application of the limited strength model of self-
1213 regulation to understanding exercise effort, planning and adherence. *Psychology &*
1214 *Health*, 25(10), 1147-1160. <https://doi.org/10.1080/08870440903111696>
- 1215 Martins, R., & Carvalho, J. M. (2015). Eye blinking as an indicator of fatigue and mental
1216 load—a systematic review. In P. M. Arezes, J. S. Baptista, M. P. Barroso, & P. Carneiro
1217 (Eds), *Occupational Safety and Hygiene III* (pp. 231-235). London: Taylor & Francis
1218 Group.
- 1219 Massar, S. A. A., Wester, A. E., Volkerts, E. R., & Kenemans, J. L. (2010). Manipulation
1220 specific effects of mental fatigue: Evidence from novelty processing and simulated
1221 driving. *Psychophysiology*, 47(6), 1119-1126. doi: 10.1111/j.1469-8986.2010.01028.x
- 1222 Matthews, G. (2011). Personality and individual differences in cognitive fatigue. In P. L.
1223 Ackerman (Ed.), *Cognitive fatigue: Multidisciplinary perspectives on current research*
1224 *and future applications* (pp. 209–227). American Psychological Association.
1225 <https://doi.org/10.1037/12343-010>
- 1226 Matuz, A., van der Linden, D., Kisander, Z., Hernádi, I., Kázmér, K., & Csathó, Á. (2021).
1227 Enhanced cardiac vagal tone in mental fatigue: Analysis of heart rate variability in
1228 Time-on-Task, recovery, and reactivity. *PLoS ONE*, 16(3), e0238670.
1229 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238670>
- 1230 McMorris, T., Barwood, M., & Corbett, J. (2018). Central fatigue theory and endurance
1231 exercise: Toward an interoceptive model. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 93,
1232 93-107. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.03.024>
- 1233 McMorris, T., Barwood, M., Hale, B. J., Dicks, M., & Corbett, J. (2018). Cognitive fatigue
1234 effects on physical performance: A systematic review and meta-analysis. *Physiology*
1235 *and Behavior*, 188, 103-107. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.01.029>

- 1236 McGarrigle, R., Dawes, P., Stewart, A. J., Kuchinsky, S. E., & Munro, K. J. (2017).
1237 Measuring listening-related effort and fatigue in school-aged children using
1238 pupillometry. *Journal of Experimental Child Psychology*, *161*, 95-112.
1239 <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.04.006>
- 1240 Meeusen, R., & Roelands, B. (2018). Fatigue: Is it all neurochemistry? *European Journal of*
1241 *Sport Science*, *18*(1), 37-46. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1296890>
- 1242 Meeusen, R., Watson, P., Hasegawa, H., Roelands, B., & Piacentini, M. F. (2006). Central
1243 fatigue. *Sports Medicine*, *36*(10), 881-909. [https://doi.org/10.2165/00007256-](https://doi.org/10.2165/00007256-200636100-00006)
1244 [200636100-00006](https://doi.org/10.2165/00007256-200636100-00006)
- 1245 Meijman, T. F. (1997). Mental fatigue and the efficiency of information processing in relation
1246 to work times. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *20*, 31-38.
1247 [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(96\)00029-7](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(96)00029-7)
- 1248 Melo, H. M., Nascimento, L. M., & Takase, E. (2017). Mental fatigue and heart rate
1249 variability (HRV): The time-on-task effect. *Psychology & Neuroscience*, *10*(4), 428-
1250 436. <http://dx.doi.org/10.1037/pne0000110>
- 1251 Milyavskaya, M., & Inzlicht, M. (2017). What's so great about self-control? Examining the
1252 importance of effortful self-control and temptation in predicting real-life depletion and
1253 goal attainment. *Social Psychological and Personality Science*, *8*(6), 603-611.
1254 <https://doi.org/10.1177/1948550616679237>
- 1255 Moeller S. J., Tomasi, D., Honorio, J., Volkow, N. D., & Goldstein, R. Z. (2012).
1256 Dopaminergic involvement during mental fatigue in health and cocaine addiction.
1257 *Translational Psychiatry*, *2*, e176. doi: 10.1038/tp.2012.110
- 1258 Molden, D. C., Hui, C. M., Scholer, A. A., Meier, B. P., Noreen, E. E., D'Agostino, P. R., &
1259 Martin, V. (2012). Motivational versus metabolic effects of carbohydrates on self-

- 1260 control. *Psychological Science*, 23(10), 1137-1144.
- 1261 <https://doi.org/10.1177/0956797612439069>
- 1262 Möller, M. C., Nordin, L. E., Bartfai, A., Julin, P., & Li, T.-Q. (2017). Fatigue and cognitive
1263 fatigability in mild traumatic brain injury are correlated with altered neural activity
1264 during vigilance test performance. *Frontiers in Neurology*, 8, 496.
- 1265 <https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00496>
- 1266 Müller, T., & Apps, M. A. J. (2019). Motivational fatigue: a neurocognitive framework for
1267 the impact of effortful exertion on subsequent motivation. *Neuropsychologia*, 123, 141-
1268 151. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2018.04.030
- 1269 Muraven, M., Collins, R. L., & Nienhaus, K. (2002). Self-control and alcohol restraint: An
1270 initial application of the self-control strength model. *Psychology of Addictive Behaviors*,
1271 16(2), 113-120. <https://doi.org/10.1037/0893-164X.16.2.113>
- 1272 Muraven, M., Shmueli, D., & Burkley, E. (2006). Conserving self-control strength. *Journal of*
1273 *Personality and Social Psychology*, 91(3), 524-537. [https://doi.org/10.1037/0022-](https://doi.org/10.1037/0022-3514.91.3.524)
1274 [3514.91.3.524](https://doi.org/10.1037/0022-3514.91.3.524)
- 1275 Muraven, M., & Slessareva, E. (2003). Mechanisms of self-control failure: Motivation and
1276 limited resources. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 29(7), 894-906.
- 1277 <https://doi.org/10.1177/0146167203029007008>
- 1278 Muraven, M., Tice, D. M., & Baumeister, R. F. (1998). Self-control as limited resource:
1279 Regulatory depletion patterns. *Journal of Personality and Social Psychology*, 74(3),
1280 774-789. doi: 10.1037//0022-3514.74.3.774
- 1281 Noakes, T. D. (1997). Challenging beliefs: ex Africa semper aliquid novi. *Medicine &*
1282 *Science in Sports & Exercise*, 29(5), 571-590. [https://doi.org/10.1097/00005768-](https://doi.org/10.1097/00005768-199705000-00001)
1283 [199705000-00001](https://doi.org/10.1097/00005768-199705000-00001)

- 1284 Noakes, T. D. (2012). The Central Governor Model in 2012: Eight new papers deepen our
1285 understanding of the regulation of human exercise performance. *British Journal of*
1286 *Sports Medicine*, 46(1), 1-3. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090811>
- 1287 Oberste, M., de Waal, P., Joisten, N., Walzik, D., Egbringhoff, M., Javelle, F., Bloch, W., &
1288 Zimmer, P. (2021). Acute aerobic exercise to recover from mental exhaustion—a
1289 randomized controlled trial. *Physiology & Behavior*, 241, 113588.
1290 <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2021.113588>
- 1291 Otani, H., Kaya, M., Tamaki, A., & Watson, P. (2017). Separate and combined effects of
1292 exposure to heat stress and mental fatigue on endurance exercise capacity in the heat.
1293 *European Journal of Applied Physiology*, 117, 119-129. [https://doi.org/10.1007/s00421-](https://doi.org/10.1007/s00421-016-3504-x)
1294 [016-3504-x](https://doi.org/10.1007/s00421-016-3504-x)
- 1295 Pageaux, B., & Lepers, R. (2018). The effects of mental fatigue on sport-related performance.
1296 In S. Marcora & M. B. T.-P. in B. R. Sarkar (Eds.), *Sport and the Brain: The Science of*
1297 *Preparing, Enduring and Winning*, Part C (Vol. 240, pp. 291-315). Elsevier.
1298 <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2018.10.004>
- 1299 Pageaux, B., Lepers, R., Dietz, K. C., & Marcora, S. M. (2014). Response inhibition impairs
1300 subsequent self-paced endurance performance. *European Journal of Applied*
1301 *Physiology*, 114, 1095-1105. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2838-5>
- 1302 Pageaux, B., Marcora, S. M., & Lepers, R. (2013). Prolonged mental exertion does not alter
1303 neuromuscular function of the knee extensors. *Medicine and Science in Sports and*
1304 *Exercise*, 45(12), 2254-2264. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31829b504a>
- 1305 Pattyn, N., Neyt, X., Henderickx, D., & Soetens, E. (2008). Psychophysiological investigation
1306 of vigilance decrement: Boredom or cognitive fatigue? *Physiology and Behavior*, 93(1-
1307 2), 369-378. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2007.09.016>

- 1308 Penna, E. M., Filho, E., Wanner, S. P., Campos, B. T., Quinan, G. R., Mendes, T. T., Smith,
1309 M. R., & Prado, L. S. (2018). Mental fatigue impairs physical performance in young
1310 swimmers. *Pediatric Exercise Science*, *30*(2), 208-215.
1311 <https://doi.org/10.1123/pes.2017-0128>
- 1312 Pires, F. O., Silva-Júnior, F. L., Brietzke, C., Franco-Alvarenga, P. E., Pinheiro, F. A., de
1313 França, N. M., Teixeira, S., & Meireles Santos, T. (2018). Mental fatigue alters cortical
1314 activation and psychological responses, impairing performance in a distance-based
1315 cycling trial. *Frontiers in Physiology*, *9*, 227. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00227>
- 1316 Pontifex, M. B., McGowan, A. L., Chandler, M. C., Gwizdala, K. L., Parks, A. C., Fenn, K.,
1317 & Kamijo, K. (2019). A primer on investigating the after effects of acute bouts of
1318 physical activity on cognition. *Psychology of Sport and Exercise*, *40*(August 2018), 1-
1319 22. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2018.08.015>
- 1320 Poulus, A. J., Docter, H. J., & Westra, H. G. (1974). Acid-base balance and subjective
1321 feelings of fatigue during physical exercise. *European Journal of Applied Physiology*
1322 *and Occupational Physiology*, *33*(3), 207-213. doi: 10.1007/BF00421148
- 1323 Proost, M., Habay, J., De Wachter, J., De Pauw, K., Rattray, B., Meeusen, R., Roelands, B.,
1324 & Van Cutsem, J. (2022). How to tackle mental fatigue: A systematic review of
1325 potential countermeasures and their underlying mechanisms. *Sports Medicine*.
1326 <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01678-z>
- 1327 Ren, P., Anderson, A. J., McDermott, K., Baran, T. M., & Lin, F. (2019). Cognitive fatigue
1328 and cortical-striatal network in old age. *Aging*, *11*(8), 2312-2326. doi:
1329 10.18632/aging.101915
- 1330 Robertson, I. H., Manly, T., Andrade, J., Baddeley, B. T., & Yiend, J. (1997). "Oops!":
1331 Performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and

- 1332 normal subjects. *Neuropsychologia*, 35(6), 747-758. <https://doi.org/10.1016/S0028->
1333 [3932\(97\)00015-8](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(97)00015-8)
- 1334 Rozand, V., & Lepers, R. (2017). Influence de la fatigue mentale sur les performances
1335 physiques. *Movement & Sport Sciences – Science & Motricité*, (95), 3-12. doi:
1336 10.1051/sm/2015045
- 1337 Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2008). From ego depletion to vitality: Theory and findings
1338 concerning the facilitation of energy available to the self. *Social and Personality*
1339 *psychology compass*, 2(2), 702-717. <https://doi.org/10.1111/j.1751-9004.2008.00098.x>
- 1340 Sanders, A. F. (1983). Towards a model of stress and human performance. *Acta*
1341 *Psychologica*, 53, 61-97. doi: 10.1016/0001-6918(83)90016-1
- 1342 Sanders, M. A., Shirk, S. D., Burgin, C. J., & Martin, L. L. (2012). The gargle effect: Rinsing
1343 the mouth with glucose enhances self-control. *Psychological Science*, 23(12), 1470-
1344 1472. <https://doi.org/10.1177/0956797612450034>
- 1345 Schmeichel, B. J., Harmon-Jones, C., & Harmon-Jones, E. (2010). Exercising self-control
1346 increases approach motivation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 99(1),
1347 162-173. <https://doi.org/10.1037/a0019797>
- 1348 Schmeichel, B. J., & Vohs, K. D. (2009). Self-affirmation and self-control: Affirming core
1349 values counteracts ego depletion. *Journal of Personality and Social Psychology*, 96(4),
1350 770-782. <https://doi.org/10.1037/a0014635>
- 1351 Schmidt, L., Lebreton, M., Cléry-Melin, M.-L., Daunizeau, J., & Pessiglione, M. (2012).
1352 Neural mechanisms underlying motivation of mental versus physical effort. *PLoS*
1353 *Biology*, 10(2), e1001266. doi: 10.1371/journal.pbio.1001266
- 1354 Shenhav, A., Musslick, S., Lieder, F., Kool, W., Griffiths, T. L., Cohen, J. D., & Botvinick M.
1355 M. (2017). Toward a rational and mechanistic account of mental effort. *Annual Review*
1356 *of Neuroscience*, 40, 99-124. doi: 10.1146/annurev-neuro-072116-031526

- 1357 Silvestrini, N., & Rainville, P. (2013). After-effects of cognitive control on pain. *European*
1358 *Journal of Pain* (United Kingdom), *17*(8), 1225-1233. [https://doi.org/10.1002/j.1532-](https://doi.org/10.1002/j.1532-2149.2013.00299.x)
1359 [2149.2013.00299.x](https://doi.org/10.1002/j.1532-2149.2013.00299.x)
- 1360 Simon, J., Takács, E., Orosz, G., Berki, B., & Winkler, I. (2020). Short-term cognitive fatigue
1361 effect on auditory temporal order judgments. *Experimental Brain Research*, *238*, 305-
1362 319. <https://doi.org/10.1007/s00221-019-05712-x>
- 1363 Sjøstad, H., & Baumeister, R. F. (2018). The future and the will: Planning requires self-
1364 control, and ego depletion leads to planning aversion. *Journal of Experimental Social*
1365 *Psychology*, *76*, 127-141. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2018.01.005>
- 1366 Stadheim, H. K., Stensrud, T., Brage, S., & Jensen, J. (2021). Caffeine increases exercise
1367 performance, maximal oxygen uptake, and oxygen deficit in elite male endurance
1368 athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *53*(11), 2264-2273. doi:
1369 10.1249/MSS.0000000000002704
- 1370 Staud, R., Boissoneault, J., Craggs, J. G., Lai, S. & Robinson, M. E. (2018) Task related
1371 cerebral blood flow changes of patients with chronic fatigue syndrome: an arterial spin
1372 labeling study. *Fatigue: Biomedicine, Health & Behavior*, *6*(2), 63-79. doi:
1373 10.1080/21641846.2018.1453919
- 1374 Steinborn, M. B., Flehmig, H. C., Westhoff, K., & Langner, R. (2010). Differential effects of
1375 prolonged work on performance measures in self-paced speed tests. *Advances in*
1376 *Cognitive Psychology*, *5*, 105-113. <https://doi.org/10.2478/v10053-008-0070-8>
- 1377 Tanaka, M., & Watanabe, Y. (2012). Supraspinal regulation of physical fatigue. *Neuroscience*
1378 *and Biobehavioral Reviews*, *36*(1), 727-734.
1379 <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.10.004>

- 1380 Tangney, J. P., Baumeister, R. F., & Boone, A. L. (2004). High self-control predicts good
1381 adjustment, less pathology, better grades, and interpersonal success. *Journal of*
1382 *Personality*, 2, 54. doi: 10.1111/j.0022-3506.2004.00263.x
- 1383 Taylor, J. L., Todd, G., & Gandevia, S. C. (2006). Evidence for a supraspinal contribution to
1384 human muscle fatigue. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*,
1385 33(4), 400-405. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1681.2006.04363.x>
- 1386 Tomazini, F., Santos-Mariano, A. C., Ferreira dos Santos Andrade, V., Coelho, D. B.,
1387 Bertuzzi, R., Pereira, G., Silva-Cavalcante, M. D., & Lima-Silva, A. E. (2022). Caffeine
1388 ingestion increases endurance performance of trained male cyclists when riding against
1389 a virtual opponent without altering muscle fatigue. *European Journal of Applied*
1390 *Physiology*. <https://doi.org/10.1007/s00421-022-04969-5>
- 1391 Tran, Y., Craig, A., Craig, R., Chai, R., & Nguyen, H. (2020). The influence of mental fatigue
1392 on brain activity: Evidence from a systematic review with meta-analyses.
1393 *Psychophysiology*, 57, e13554. <https://doi.org/10.1111/psyp.13554>
- 1394 Trautman, A. (2021). Mécanismes sous-jacents à la fatigue chronique, un symptôme trop
1395 souvent négligé. *Medicine Science (Paris)*, 37, 1047-1054.
1396 <https://doi.org/10.1051/medsci/2021170>
- 1397 Trendall, J. (2000). Concept analysis: chronic fatigue. *Journal of Advanced Nursing*, 32(5),
1398 1126-1131. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2648.2000.01583.x>
- 1399 Tucker, P. (2003). The impact of rest breaks upon accident risk, fatigue and performance: A
1400 review. *Work and Stress*, 17, 123-137. <https://doi.org/10.1080/0267837031000155949>
- 1401 Van Cutsem, J., Marcora, S., De Pauw, K., Bailey, S., Meeusen, R., & Roelands, B. (2017).
1402 The effects of mental fatigue on physical performance: A systematic review. *Sports*
1403 *Medicine*, 47(8), 1569-1588. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0672-0>

- 1404 van der Linden, D. (2011). The urge to stop: The cognitive and biological nature of acute
1405 mental fatigue. In P. L. Ackerman (Ed.), *Cognitive fatigue: Multidisciplinary*
1406 *perspectives on current research and future applications* (pp. 149-164). American
1407 Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/12343-007>
- 1408 Wang, M., Ramos, B. P., Paspalas, C. D., Shu, Y., Simen, A., Duque, A., Vijayraghavan, S.,
1409 Brennan, A., Dudley, A., Nou, E., Mazer, J. A., McCormick, D. A., Arnsten, A. F. T.
1410 (2007). α 2A-adrenoceptors strengthen working memory networks by Inhibiting cAMP-
1411 HCN channel signaling in prefrontal cortex. *Cell*, *129*, 397-410. doi:
1412 10.1016/j.cell.2007.03.015.
- 1413 Wang, C., Ding, M., & Kluger, B. M. (2014). Change in intraindividual variability over time
1414 as a key metric for defining performance-based cognitive fatigability. *Brain and*
1415 *Cognition*, *85*, 251-258. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2014.01.004>
- 1416 Westgate, E. C., & Wilson, T. D. (2018). Boring thoughts and bored minds: The MAC model
1417 of boredom and cognitive engagement. *Psychological Review*, *125*(5), 689-713.
1418 <https://doi.org/10.1037/rev0000097>
- 1419 Wimmer, M. C., Dome, L., Hancock, P. J. B., & Wennekers, T. (2019). Is the letter
1420 cancellation task a suitable index of ego depletion? Empirical and conceptual issues.
1421 *Social Psychology*, *50*(5-6), 345-354.
1422 <http://dx.doi.org.biblioproxy.uqtr.ca/10.1027/1864-9335/a000393>
- 1423 Wolff, W., Bieleke, M., Martarelli, C. S., & Danckert, J. (2021). A Primer on the role of
1424 boredom in self-controlled sports and exercise behavior. *Frontiers in Psychology*, *12*,
1425 637839. doi: 10.3389/fpsyg.2021.637839
- 1426 Wolff, W., Sieber, V., Bieleke, M., & Englert, C. (2019). Task duration and task order do not
1427 matter: no effect on self-control performance. *Psychological Research*, *85*(1), 397-407.
1428 <https://doi.org/10.1007/s00426-019-01230-1>

- 1429 Wylie, G. R., Genova, H. M., DeLuca, J., & Dobryakova, E. (2017). The relationship between
1430 outcome prediction and cognitive fatigue: A convergence of paradigms. *Cognitive,*
1431 *Affective, & Behavioral Neuroscience, 17,* 838-849. doi: 10.3758/s13415-017-0515-y
- 1432 Yakobi, O., Boylan, J., & Danckert, J. (2021). Behavioral and electroencephalographic
1433 evidence for reduced attentional control and performance monitoring in boredom.
1434 *Psychophysiology, 58*(6), 1-12. <https://doi.org/10.1111/psyp.13816>
- 1435

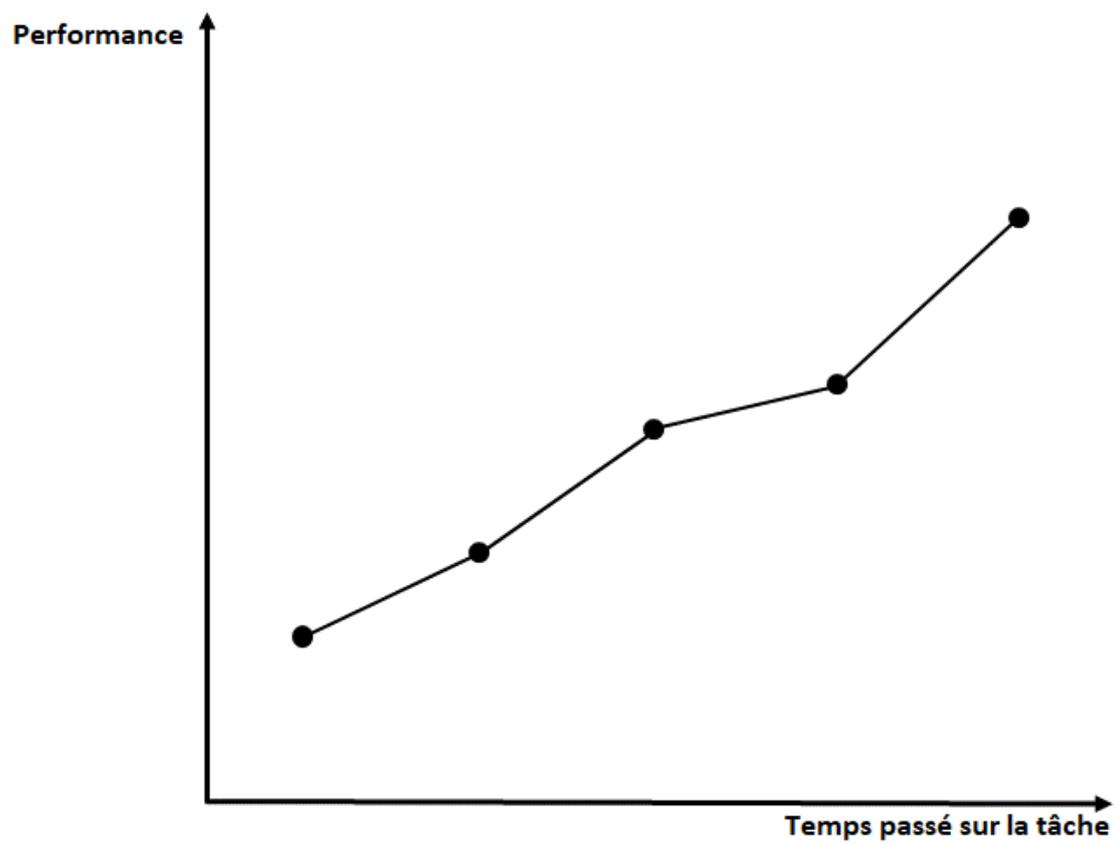
Légende des figures

1436

1437 **Figure 1** : Détérioration de la performance en fonction du temps passé sur une tâche qui
1438 demande de l'effort mental. La tâche mentale est généralement découpée en plusieurs
1439 périodes de même durée. La performance enregistrée au cours de chaque période de temps est
1440 reportée sur la courbe performance-temps.

1441 **Figure 2** : Illustration schématique du protocole des tâches séquentielles. Dans la condition
1442 A, les participants réalisent séquentiellement une tâche d'épuisement et une tâche dépendante.
1443 Dans la condition B, ils réalisent une tâche contrôle suivie de la même tâche dépendante que
1444 celle utilisée dans la condition A. La tâche d'épuisement et la tâche dépendante sollicitent
1445 fortement l'effort mental, alors que la tâche contrôle sollicitent faiblement l'effort mental.

1446

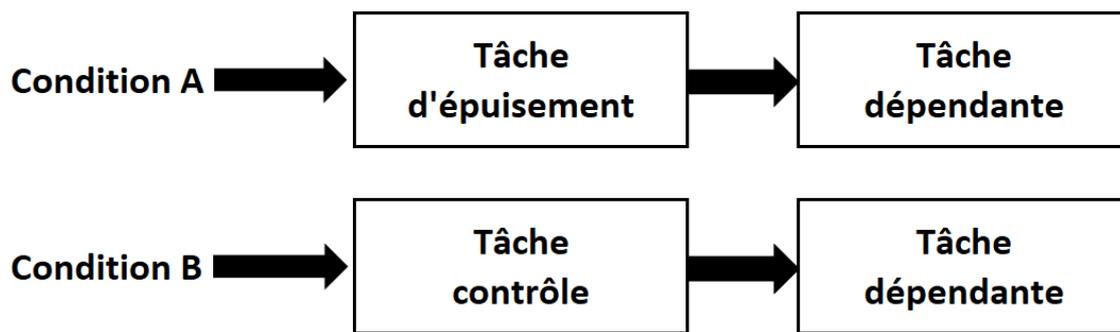


1447

1448

1449

Figure 1



1450

1451

Figure 2