

Exploration de variables subjectives contribuant à l'installation de la fatigue cognitive chez les personnes middle-aged

Auteur : Robert, Elisabeth

Promoteur(s) : Collette, Fabienne

Faculté : par Faculté de Psychologie, Logopédie et Sciences de l'Education

Diplôme : Master en sciences psychologiques, à finalité spécialisée en psychologie clinique

Année académique : 2019-2020

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/9206>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



Faculté de Psychologie, Logopédie et Sciences de l'Education

Exploration de variables subjectives contribuant à l'installation de la fatigue cognitive chez les personnes middle-aged

Mémoire réalisé sous la direction de Madame Fabienne Collette et présenté en vue de
l'obtention du grade de master en sciences psychologiques, finalité « Psychologie Clinique »

Elisabeth ROBERT

S150340

Année académique 2019-2020



Faculté de Psychologie, Logopédie et Sciences de l'Education

Exploration de variables subjectives contribuant à l'installation de la fatigue cognitive chez les personnes middle-aged

Mémoire réalisé sous la direction de Madame Fabienne Collette et présenté en vue de
l'obtention du grade de master en sciences psychologiques, finalité « Psychologie Clinique »

Elisabeth ROBERT

S150340

Année académique 2019-2020

Remerciements

Je remercie Madame la Professeure Fabienne Collette de m'avoir permis de réaliser ce mémoire et de travailler sur la thématique de la fatigue au sein du Cyclotron.

Ensuite, je remercie Jessica Gilsoul pour sa supervision tout au long de ce mémoire. Sa disponibilité, ses explications, son soutien et ses encouragements m'ont été d'une aide précieuse dans la poursuite de ce travail, qui n'aurait pas pu prendre forme sans elle.

Mes remerciements vont également, bien évidemment, à tous les volontaires qui ont accepté de consacrer un peu de leur temps pour participer à cette recherche. Sans eux, ce travail aurait été impossible.

J'aimerais également remercier les personnes qui ont accepté de relire ce mémoire afin de traquer les fautes et les coquilles : Jessica Gilsoul, Isabelle Leroy, Fauve Guillaume et Jeannine Leroy.

Enfin, sans soutien et sans encouragement, aucun travail d'une telle envergure n'est réalisable. Je voudrais remercier ma famille, mon copain et mes amis qui m'ont soutenue dans cette aventure.

Table des matières

| | | |
|------|---|----|
| I. | INTRODUCTION..... | 3 |
| A. | Définitions..... | 4 |
| B. | Modèles | 6 |
| 1. | Au niveau comportemental et physiologique..... | 6 |
| 2. | Au niveau de l'activation cérébrale | 15 |
| 3. | Au niveau de la transmission neuronale..... | 18 |
| C. | Mesures de la fatigue cognitive | 20 |
| D. | La fatigue cognitive au fil des âges..... | 23 |
| 1. | Fatigue cognitive et personnes jeunes | 23 |
| 2. | Fatigue cognitive et avancée en âge | 23 |
| 3. | Fatigue cognitive et personnes middle-aged..... | 25 |
| E. | Facteurs pouvant impacter la fatigue cognitive..... | 26 |
| 1. | Fatigue cognitive et qualité de vie | 27 |
| 2. | Fatigue cognitive et dépression | 29 |
| 3. | Fatigue cognitive et multimorbidités | 29 |
| II. | METHODOLOGIE | 35 |
| A. | Participants..... | 36 |
| B. | Outils | 38 |
| 1. | Questionnaires | 38 |
| 2. | Tâche de Stroop | 42 |
| C. | Procédure générale..... | 43 |
| 1. | Rendez-vous 1 | 43 |
| 2. | Rendez-vous 2 | 44 |
| D. | Variables démographiques | 45 |
| E. | Statistiques | 47 |
| 1. | Sentiments subjectifs : échelles KSS et VAS..... | 47 |
| 2. | Statistiques générales : précision et temps de réaction sur la tâche entière..... | 47 |
| 3. | Statistiques d'intérêt | 48 |
| III. | RESULTATS | 53 |
| A. | Sentiments subjectifs : Echelle KSS et VAS | 54 |
| 1. | KSS : avant et après la tâche de Stroop | 54 |
| 2. | VAS Fatigue : avant et après la tâche de Stroop | 54 |
| 3. | VAS Motivation : avant et après la tâche de Stroop..... | 54 |

| | |
|---|----|
| 4. VAS Effort : avant et après la tâche de Stroop..... | 55 |
| B. Statistiques générales sur la tâche entière..... | 55 |
| C. Statistiques d'intérêts | 58 |
| 1. Explication du paramètre tau pour les items facilitateurs..... | 58 |
| 2. Explication du paramètre tau pour les items interférents | 61 |
| 3. Explication du paramètre tau pour les items neutres | 64 |
| IV. DISCUSSION | 67 |
| A. Sentiments subjectifs | 69 |
| B. Caractéristiques de la tâche de Stroop | 70 |
| C. Modèles explicatifs de la fatigue | 71 |
| 1. Intercept aléatoire : variabilité interindividuelle | 71 |
| 2. Le bloc : effet du temps | 72 |
| 3. Régresseurs subjectifs | 74 |
| D. Application pratique des résultats | 77 |
| E. Limites et perspectives futures..... | 78 |
| 1. Niveau théorique..... | 78 |
| 2. Niveau méthodologique | 80 |
| V. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES | 81 |
| VI. LISTE DE REFERENCES..... | 83 |
| VII. ANNEXES..... | 95 |

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La fatigue, spécialement la fatigue cognitive, est une problématique très répandue dans la population générale, et plus particulièrement dans de nombreuses pathologies telles que la sclérose en plaques, le syndrome de fatigue chronique, les traumatismes crâniens, etc. Elle est également responsable de nombreux accidents. De ce fait, il est important d'étudier ce phénomène afin de mieux le comprendre.

L'impact de la fatigue cognitive est différent selon l'âge des personnes (jeunes, middle-aged, âgés). Il a été montré que les personnes middle-aged sont plus impactées par la fatigue cognitive que les personnes jeunes, mais également que les personnes âgées (Gilsoul et al., under review). Différentes hypothèses sont évoquées au sujet de cette étonnante différence : charge de travail, qualité de vie, état de santé, etc. Toutefois, peu d'études sur la fatigue cognitive ont été actuellement menées sur ce groupe de personnes middle-aged.

Face à ce manque d'informations concernant la fatigue cognitive chez les personnes middle-aged, ce travail propose d'analyser plus précisément l'impact de différents facteurs sur la fatigue dans cette tranche d'âge. En effet, ce n'est qu'en comprenant mieux les éléments qui agissent sur la fatigue qu'il sera plus aisé de mettre des outils en place pour la diminuer ou l'anticiper.

La qualité de vie, la dépression, les états de santé et l'éveil subjectif seront donc étudiés au travers de cette recherche. De plus, les mesures de fatigue subjective telles que les questionnaires auto-administrés seront aussi examinés afin d'avoir une meilleure connaissance de leur lien avec la fatigue observée de façon objective.

Dans la première partie théorique de ce travail, la fatigue sera présentée de façon générale, puis quelques modèles rendant compte de la fatigue seront proposés. Ensuite, la question de la mesure de la fatigue sera abordée, ainsi que les manifestations de la fatigue différant selon l'âge des personnes. Enfin, les liens entre la fatigue et la qualité de vie, la fatigue et la dépression ainsi qu'entre la fatigue et les multimorbidités seront envisagés.

I. INTRODUCTION

A. Définitions

La fatigue est un symptôme courant chez les personnes saines et une des premières plaintes des personnes ayant recours aux soins de santé de base (Aaronson et al., 1999; Chaudhuri & Behan, 2000). De plus, dans notre société moderne, les emplois sont astreignants et exigeants. La fatigue est donc un problème touchant potentiellement beaucoup de personnes (Boksem & Tops, 2008 ; Herlambang et al., 2019). D'un point de vue plus économique, il est essentiel que la fatigue soit mieux comprise. En effet, quand elle devient trop sévère et persistante, elle peut notamment mener à de longs congés de maladie et à des incapacités de travail (Huibers et al., 2003). Il a également été montré que la fatigue est associée à une pauvre qualité de vie, des incapacités fonctionnelles et une mortalité augmentée (Burke et al., 2018). Tous ces éléments rendent compte de l'importance d'étudier la fatigue. Toutefois, cela n'est pas toujours aisé, à commencer par la définition de cette dernière.

Etant donné les interactions complexes entre des processus biologiques, des phénomènes psychosociaux et des manifestations comportementales impliquées dans la définition de la fatigue, il n'est pas surprenant que cette notion soit imprécise (Aaronson et al., 1999). Ainsi, la littérature regorge de définitions différentes de la fatigue, souvent centrées sur l'un ou l'autre des aspects spécifiques du fonctionnement (physiologiques, comportementaux, subjectifs, etc.).

En 1999, Aaronson et al. proposent une définition générale de la fatigue pour tenter de rassembler ces différents aspects : « La conscience d'une capacité diminuée pour réaliser une activité physique et/ou mentale due à un déséquilibre dans la disponibilité, l'utilisation et/ou la restauration des ressources nécessaires pour réaliser cette activité » (Aaronson et al., 1999, p. 46). Plus tard, afin d'être plus complet et de répondre notamment aux questions relatives aux origines et aux conséquences de la fatigue, Phillips (2015) en propose une nouvelle définition : « Une condition psychophysiologique suboptimale causée par l'exertion¹. Le degré et le caractère dimensionnel de la condition dépendent de la forme², de la dynamique³ et du contexte de l'effort. Ce contexte de l'effort est expliqué par la valeur et la signification de la performance aux yeux de l'individu, le repos et l'historique de sommeil, les effets circadiens, les facteurs psychosociaux notamment au travail et dans la vie domestique, les traits individuels, le régime alimentaire, la santé physique et d'autres états individuels et environnementaux. La condition

¹ L'exertion est un terme anglo-saxon, difficilement traduisible, qui exprime la notion d'un traitement mental ou d'une performance physique qui demande un effort direct.

² La forme correspond au type de traitement mental ou à l'activité physique qui est impliquée.

³ La dynamique correspond à la durée et la continuité de l'effort.

de fatigue résulte en un changement de stratégies ou d'utilisation des ressources, comme le fait de maintenir ou réduire le niveau de traitement mental ou d'activité physique » (Phillips, 2015, p. 53).

Ces auteurs, comme d'autres (Enoka & Duchateau, 2016 ; Evans et al., 2016), préfèrent définir la fatigue en tant que terme général, sans le diviser en différents sous-composants. Ainsi, selon eux, la fatigue est une entité unique qui ne doit pas être accompagnée d'adjectifs tels que « centrale », « mentale », « musculaire », « périphérique », « physique », etc. En effet, les distinctions sont trop floues pour avoir un sens et tous les éléments sont inter-reliés. D'ailleurs, les deux « types » de fatigue (mentale et physique) se chevauchent : une tâche d'effort mental pouvant recruter des contractions musculaires, et inversement (Evans et al., 2016).

Au contraire, d'autres font la distinction entre la fatigue cognitive et la fatigue physique. Ce travail s'inscrit dans cette vision différenciant les deux types de fatigue. La fatigue cognitive, mentale ou centrale (Chaudhuri & Behan, 2000) se réfère plus spécifiquement à la fatigue qui se fait ressentir après un travail mental, et non après un travail physique (Wylie et al., 2017). Elle est donc psychologique par nature, alors que la fatigue physique, ou périphérique (Chaudhuri & Behan, 2000), est liée à la fatigue musculaire (Lal et Craig, 2001). Dans ce travail, nous nous attarderons davantage sur les aspects relatifs à la fatigue cognitive.

Le symptôme majeur de la fatigue cognitive est une sensation générale de lassitude, des sentiments d'inhibition et d'activité réduite, une diminution d'engagement dans la tâche, un certain inconfort, un déclin dans la motivation et un désir de se reposer. Globalement, il n'y a pas de désir à fournir un effort physique ou mental, une certaine aversion pour la tâche et elle est associée à un sentiment assez fort de somnolence (Boksem & Tops, 2008, Burke et al., 2018 ; Lal & Craig, 2001; Lorist et al., 2000; Lorist et al., 2009 ; Tanaka et al., 2015, Wang et al., 2014). Au niveau des fonctions cognitives, ce sont les fonctions exécutives qui sont le plus impactées par la fatigue cognitive, telles que l'attention sélective, l'attention soutenue, l'attention dirigée vers un but et l'inhibition (Ishii et al., 2014).

B. Modèles

De nombreux auteurs se sont intéressés à la question de la fatigue et ont tenté de l'expliquer. À l'heure actuelle, il ne semble pas encore exister de théorie consensuelle partagée par la communauté scientifique. Quelques théories, les plus rencontrées, sont présentées dans ce travail. Toutefois, ce n'est pas une liste exhaustive. Etant donné leur niveau de recouvrement conceptuel, les modèles comportementaux et physiologiques seront présentés ensemble. Ensuite, les modèles envisageant les activités cérébrales et la transmission neuronale sous-jacentes à la fatigue cognitive seront mentionnés.

1. Au niveau comportemental et physiologique

Fatigue comme symptôme

Enoka et Duchateau (2016) ont suggéré de définir la fatigue comme étant « un symptôme handicapant dans lequel les fonctions physiques et cognitives sont limitées par l'interaction entre la fatigabilité de performance et la fatigabilité perçue ». La fatigabilité de performance, comme son nom l'indique, représente un déclin de la performance mesuré objectivement sur une certaine période de temps. En revanche, la fatigabilité perçue (aussi appelée fatigue par Kluger et al., 2013), concerne les sensations subjectives telles que la lassitude, l'augmentation de l'effort et un déséquilibre entre l'effort fourni et la performance actuelle, ou encore un sentiment d'épuisement (Enoka & Duchateau, 2016 ; Kluger et al., 2013). En fait, la plupart des actions volontaires réalisées par les humains impliquent des interactions significatives entre ces deux domaines (fatigabilité perçue et de performance ; Enoka & Duchateau, 2016). C'est pourquoi ces auteurs ont préféré l'utilisation d'une définition plus générale. Dans ce modèle, le symptôme de fatigue est la conséquence de la diminution de performance et des sensations subjectives et non la cause, contrairement à ce que prônent d'autres théories. Enoka et Duchateau (2016) ne considèrent en aucun cas la distinction faite entre la fatigue cognitive et la fatigue physique. En effet, la fatigabilité de performance n'équivaut pas à la fatigue physique, et inversement. Par exemple, la fatigue cognitive peut également entraîner une diminution de la performance, et la fatigue physique peut entraîner des sensations subjectives désagréables, comme cela a probablement déjà été expérimenté par tout un chacun lors d'une séance de sport intensive.

La fatigabilité de performance ou la fatigabilité perçue ne sont pas causées par les mêmes facteurs, même s'il est évident que les deux types de fatigabilité interagissent entre eux, comme l'expliquent Enoka et Duchateau (2016). Les facteurs influençant la fatigabilité perçue sont l'homéostasie et l'état psychologique. L'homéostasie réfère à la tendance d'un organisme à maintenir un état fonctionnel stable et concerne donc le taux de glucose dans le sang, la température du corps, l'hydratation, les neurotransmetteurs, l'oxygénation, l'éveil, etc. Les facteurs psychologiques concernent la perception d'un effort, les fonctions exécutives, les attentes, l'humeur, la motivation, la douleur, le feedback de performance. La perception de l'effort pourrait être le facteur primaire limitant la performance prolongée pour les tâches motrices et cognitives chez les adultes sains. L'impact de la motivation et des fonctions exécutives correspond à l'élément central de deux autres modèles qui vont être décrits par la suite. La fatigabilité de performance, quant à elle, serait plutôt due à des fonctions contractiles (cinétique du calcium, capacités de force, afflux sanguin, métabolisme) et à l'activation des muscles (activation volontaire, patterns d'activation, neurones moteurs, feedback sensoriel, propagation neuromusculaire) (Enoka & Duchateau, 2016 ; Kluger et al., 2013). Rappelons encore une fois que les types de fatigabilité proposés par Enoka et Duchateau (2016) ne sont pas superposables aux dimensions de fatigue cognitive et physique, selon leur théorie.

Fatigue comme processus de diminution d'énergie

En 1994, Beaumeister et al. ont proposé l'idée que la fatigue est une forme d'autorégulation qui dépend d'une source d'énergie limitée. La fatigue perçue serait alors décrite comme un processus de diminution d'énergie, analogue à celle des muscles (Beaumeister et al., 1994). C'est ce qu'on appelle le modèle de force (« strength model » en anglais).

Cette théorie, paraissant très simple de premier abord, est celle qui est intuitivement utilisée pour expliquer la fatigue. Pourtant, elle est loin d'être sans défaut.

Comme le mentionnent Inzlicht et Marcra (2016), le premier problème concernant cette théorie est relatif à l'identité des ressources dont parlent Beaumeister et al. (1994). La recherche s'est portée sur le glucose, considéré comme potentielle ressource énergétique, en émettant l'hypothèse qu'un niveau insuffisant de glucose était responsable de la fatigue musculaire et cognitive. Toutefois, les résultats obtenus sont largement controversés et ne semblent pas confirmer cette hypothèse (Evans et al., 2015 ; Inzlicht et Marcra, 2016). En effet, les fluctuations normales de glucose sont très faibles et rendent cette proposition peu probable (Evans et al., 2016 ; Hockey, 2011 ; Raichle & Mintun, 2006).

Le second problème relève du fait que la théorie n'est pas consistante avec des travaux plus récents montrant qu'un aspect motivationnel peut améliorer la performance (Evans et al., 2016). Si l'autocontrôle s'épuise au fil du temps à cause d'une déplétion, ou menace de déplétion, d'une quelconque ressource d'énergie, il est difficile de comprendre que certains types de motivation (surprise, focus sur son état interne, motivation financière, ...) peuvent instantanément restaurer les performances (Inzlicht & Marcra, 2016).

À elle seule, cette théorie ne permet donc pas d'expliquer tous les phénomènes observés lors d'état de fatigue.

Le modèle du gouverneur central

En 2005, Noakes et al. ont expliqué la fatigue au moyen du modèle du gouverneur central. Ce dernier correspond à un mécanisme du système nerveux central prenant en compte les informations relatives aux besoins énergétiques, aux états physiologiques du moment et aux éléments motivationnels pour réguler l'effort physique afin de préserver l'organisme d'un échec homéostatique pendant l'effort physique. Bien évidemment, cela se fait de manière anticipée, afin que l'organisme ne subisse pas un tel échec. En ce sens, la fatigue est une perception sensorielle qui résulte de l'intégration complexe de feedbacks physiologiques, biochimiques et sensoriels provenant du système périphérique et qui serait associée ou non avec une altération de la production musculaire (Noakes et al., 2005). Dans cette formulation originale de la théorie, le gouverneur central, qui est un système subconscient, ne peut donc pas être dépassé par les forces conscientes, car cela menacerait l'homéostasie.

Or, il a été prouvé que la conscience peut effectivement dépasser le gouverneur central, comme l'attestent de nombreuses expériences agrémentant l'hypothèse motivationnelle (Inzlicht & Marcora, 2016). En réponse à ces découvertes, Noakes modifie sa théorie en 2012 en précisant que ce dépassement est possible, la motivation étant un déterminant parmi d'autres de l'effort physique. En effet, la fatigue est tout à fait subjective et de ce fait, elle est unique à chaque personne. Ainsi, potentiellement n'importe quelle variable peut affecter la performance (Noakes, 2012). D'ailleurs, il y a des moments où il est adaptatif de modifier les limites imposées par le gouverneur central, comme dans le cas de situations menaçantes pour la vie. Toutefois, de telles circonstances extrêmes suggèrent qu'il faut un haut degré de motivation pour dépasser les limites « normales » du gouverneur central (Evans et al., 2016).

Pour Evans et al. (2016), la fatigue ne peut être comprise qu'en considérant les facteurs psychologiques et physiologiques, pas seulement l'un ou l'autre. Ainsi, cet auteur propose une théorie plus intégrative reprenant ces différents facteurs. Il appelle ce modèle « Modèle de la fatigue autorégulatrice informée par la théorie du gouverneur central » et la définit comme ceci : « Les calculs subconscients relatifs à la perception de fatigue intègrent des aspects conceptuels, sensoriels et contextuels de l'expérience en cours pour faire des prédictions probabilistes afin de déterminer jusqu'à quel point les ressources personnelles peuvent être utilisées, notamment au niveau du temps et de l'effort ». Selon lui, six aspects doivent donc être pris en compte : (1) la charge de travail actuelle, (2) le signal de la disponibilité d'énergie, (3) l'anticipation d'efforts futurs, (4) les expériences précédentes, (5) les coûts et opportunités, (6) la motivation. Tous ces aspects vont être traités par le gouverneur central qui va, ou non, initier le sentiment de fatigue menant à un arrêt ou une poursuite de la tâche. Ainsi, Evans et al. montrent que l'approche du gouverneur central à la fatigue autorégulée intègre des principes de la conservation d'énergie, de l'allocation de l'énergie, tout en y incorporant la disponibilité de substrats physiologiques ainsi que la motivation dans un système complexe de feedback qui permet d'expliquer la fatigue, ainsi que la capacité à dépasser la fatigue. (Evans et al., 2016). La figure 1 synthétise ces aspects.

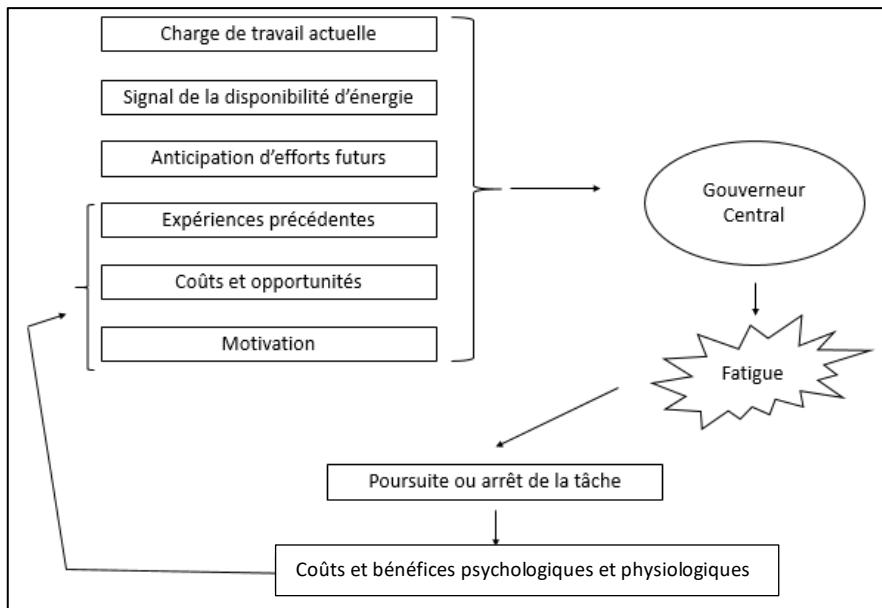


Figure 1. Modèle de la fatigue autorégulatrice informée par la théorie du gouverneur central (Schéma traduit et adapté de l'article de Evans et al. (2016))

Bien que semblant très complète, cette théorie n'accorde pas tous les auteurs entre eux. Inzlicht et Marcora (2016) en font la critique en soulevant trois problèmes majeurs. Comme cette théorie relève en partie de la déplétion d'une énergie quelconque, les problèmes cités pour la théorie de la diminution d'énergie sont également en vigueur ici (identité non précisée de l'énergie et contestation du glucose comme représentation de cette énergie ; restauration de la performance grâce à la motivation). Comment expliquer qu'un enjeu aussi important que l'homéostasie puisse être remis en question à cause de petits changements dans les valeurs motivationnelles ? Selon eux, cela rend l'explication même du gouverneur central complètement inefficace. En effet, il est difficile de voir une preuve de cette fonction ultime d'homéostasie pendant l'activité alors que cette fonction est si facilement renversée par des éléments motivationnels. Cela semble discrépante avec l'idée selon laquelle la fatigue et l'effort subjectif sont basés sur la sensation de déplétion d'énergie ou sur d'autres signaux corporels. De plus, si le contrôle d'une énergie est rendu superflu, le modèle du gouverneur central devient redondant avec d'autres modèles se basant sur les motivations et les buts (Inzlicht et al., 2016). Enfin, cette hypothèse ne peut pas être falsifiée puisque la théorie prédit que n'importe quelle variable peut affecter les performances (Inzlicht & Marcora, 2016).

La fatigue comme déséquilibre entre l'effort et la récompense

Il a été montré que la récompense peut contrecarrer les effets de la fatigue en augmentant la performance, voire en la restaurant à des niveaux similaires à ceux observés avant l'installation de la fatigue (Boksem et al., 2006 ; Hopstaken et al., 2015 ; Lorist et al., 2009). Ces observations semblent indiquer que ce n'est pas la diminution des ressources qui est la cause réelle de la diminution de performance. En effet, si c'était le cas, les participants n'auraient pas pu retrouver leur niveau initial sans avoir de période de récupération, comme cela a déjà été mentionné précédemment. Par contre, la motivation permet d'expliquer ces résultats (Hopstaken et al., 2016), ce qui fait de la fatigue cognitive un sentiment très subjectif.

La fatigue résulterait d'un déséquilibre entre l'effort et la récompense (Boksem & Tops, 2008; Chaudhuri & Behan, 2000; Hopstaken et al., 2016; Tops & Lorist, 2004). Lorsqu'un participant réalise une tâche, il utilise des ressources cognitives. Après avoir réalisé une tâche suffisamment longue et répétitive, les ressources cognitives disponibles diminuent et un effort est nécessaire pour pouvoir continuer de réaliser la tâche. Or, si l'effort augmente, la récompense n'augmente pas toujours. Dans ce cas, il y a un changement dans la matrice des gains et c'est ce changement qui peut être perçu comme étant de la fatigue. Cette fatigue expérimentée peut être une façon dont le cerveau signale que la récompense ne mérite plus que l'effort soit déployé, ce qui est un aspect important de l'autorégulation. Par contre, si la récompense augmente, la fatigue peut être surmontée car la matrice des gains est rétablie (Herlambang et al., 2019, Wylie et al., 2017).

La motivation joue donc un rôle clé dans la fatigue en la modulant. Selon Hopstaken et al. (2015), la motivation régulerait l'engagement dans la tâche.

Cette interprétation mettant en avant le rôle de la motivation dans l'origine de la fatigue permet notamment d'expliquer pourquoi les populations cliniques ressentent plus de fatigue que les populations saines. En effet, pour ces personnes, des tâches, même simples, demandent plus d'efforts, alors que la récompense qui y est associée n'a pas changé. Ceci résulte alors en un déséquilibre chronique entre les efforts déployés et la récompense perçue, ce qui engendre la fatigue (Wylie et al., 2017).

Toutefois, l'étude de Vohs et al. (2012) précise qu'un input motivationnel de base sur une tâche autorégulatoire peut empêcher la fatigue de niveau modéré, mais pas lorsqu'elle atteint un niveau élevé.

De plus, l'étude de Gergelyfi et al. (2015) ne parvient pas à démontrer que les changements motivationnels, se produisant durant l'expérience, puissent être la cause du développement de la fatigue mentale. Ce manque de motivation ne semble donc pas expliquer à lui seul la fatigue cognitive.

Le modèle de contrôle compensatoire de la fatigue : aspect exécutif et balance décisionnelle

En 2011, Hockey propose le modèle de contrôle compensatoire de la fatigue intégrant les aspects de la balance décisionnelle coûts/bénéfices avec le contrôle exécutif et la fonction adaptative du comportement de la fatigue. Son modèle est illustré au moyen de la figure 2.

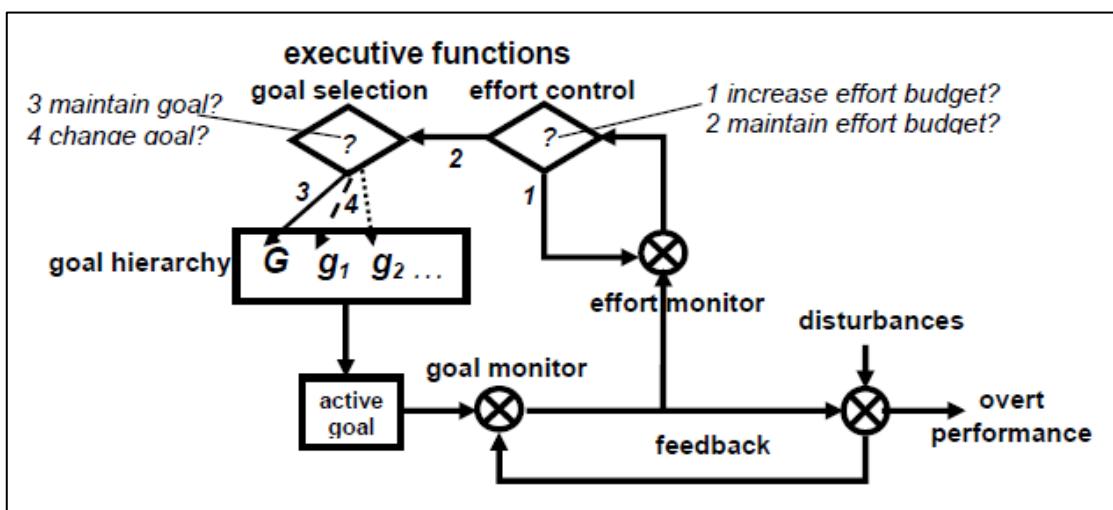


Figure 2. Modèle de contrôle compensatoire de la fatigue. Ce modèle permet de mettre en évidence le rôle des fonctions exécutives (executive functions) et de la balance décisionnelle coûts-bénéfices (goal monitor, goal selection, goal hierarchy). (Figure provenant de l'article de Hockey et al.. (2011)).

Selon Hockey (2011), plus que la diminution des ressources énergétiques dans le temps, la fatigue correspondrait alors à un problème de gestion du contrôle de l'allocation des ressources. La fatigue serait alors un état adaptatif permettant de maintenir une gestion efficace des buts à atteindre.

Plus précisément, la fatigue cognitive serait un échec exécutif à maintenir et optimiser la performance d'un effort cognitif précis mais soutenu, ce qui résulte en une performance qui est moins bonne et plus variable que l'habileté optimale individuelle (Holtzer et al., 2011 ; Möllert et al., 2014).

Cette difficulté de gestion du contrôle de l'allocation des ressources peut s'expliquer de deux manières différentes : une difficulté à maintenir son attention causée par un échec des fonctions exécutives (processus top-down) ou alors par un déplacement de l'attention causé par de la distraction venant d'événements extérieurs (processus bottom-up). Dans les deux cas, les fonctions exécutives interviennent, soit elles ne permettent pas le maintien de l'attention, soit elles ne permettent pas l'inhibition d'autres stimuli (Hockey, 2011).

Le sentiment de fatigue peut apparaître lors de conflits entre le but actuel et d'autres buts en compétition ou lorsque le but recherché lors de la tâche « s'éteint ». Cet état de fatigue aurait une fonction métacognitive et adaptative, en permettant d'interrompre le but en action et de permettre à d'autres d'entrer en compétition. Cela nous permet de rester flexibles et de pouvoir être « distraits » par d'autres buts qui pourraient alors apparaître comme étant plus importants (Hockey, 2011). De plus, la fatigue renseigne l'individu sur le fait que la stratégie qu'il est en train d'utiliser ne fonctionne plus de manière optimale et qu'il lui faut la changer, ou revoir à la baisse son objectif (Boksem & Tops, 2008). Toutefois, ce mécanisme adaptatif n'est présent que si nous avons un contrôle sur la situation et pouvons effectivement choisir. Dans la réalité, ce n'est que très rarement rencontré (Boksem & Tops, 2008).

La fatigue servirait donc à motiver l'organisme à se tourner vers une meilleure alternative dans l'environnement (Evans et al., 2016). Néanmoins, cette explication adaptative ne permet pas de rendre compte du fait que les performances à une seconde tâche sont souvent dégradées, ni qu'une personne puisse être fatiguée alors qu'elle est engagée dans une activité à haute valeur et avec des attentes élevées qui requiert de l'autorégulation, ni pourquoi certaines personnes persistent dans une tâche malgré le fait de ressentir une grande fatigue (Evans et al., 2016).

La fatigue passive ou active

May et Baldwin (2009) dissocient la fatigue liée à la tâche et la fatigue liée au sommeil. Dans la première, les auteurs font la distinction entre la fatigue active et la fatigue passive.

La fatigue active est liée à une charge exigeante relative à la tâche. La personne doit mobiliser des ressources mentales et contrôler l'attention. Un effort mental est donc nécessaire (Gimeno et al., 2006). Par exemple, lors de la conduite, il s'agirait de conditions telles qu'un trafic important ou une visibilité pauvre. D'autres tâches doivent donc être complétées en vue de réaliser la première (conduire correctement) (May & Baldwin, 2009). En fait, cela fait appel au composant exécutif des fonctions cognitives qui nous permet de réaliser une tâche nouvelle ou inhabituelle et rejoint en quelque sorte les théories s'appuyant sur le composant exécutif. En revanche, la fatigue passive est liée à une automatisation de processus et des conditions monotones. Les personnes se fient alors à des schémas mentaux automatiques, ce qui résulte en une réduction des efforts déployés pour réaliser la tâche. En effet, peu de ressources mentales sont mobilisées pour de tels schémas (Gimeno et al., 2006 ; May & Baldwin, 2009). Quand la situation se prolonge, cela peut mener à un état de somnolence⁴, amenant alors à une diminution de la performance. Cet état peut être surmonté, ou compensé, en déployant un effort mental que l'on appelle alors un « effort relatif à la tâche » (Gimeno et al., 2006).

Enfin, les auteurs mentionnent que les conséquences de la fatigue liée à la tâche peuvent être surajoutées à la fatigue liée au sommeil, que la fatigue soit passive ou active (May & Baldwin, 2009).

⁴ La somnolence réfère à un état d'alerte mentale faible qui se montre dans une activité physiologique faible. Elle est ressentie de façon subjective comme un sentiment d'assoupissement et d'une diminution de la conscience de la situation (Gimeno et al., 2006).

2. Au niveau de l'activation cérébrale

Les modèles exposés jusqu'à présent se focalisent principalement sur les composants physiologiques et psychologiques de la fatigue. D'autres modèles s'intéressent également à l'activation cérébrale relative à la fatigue.

D'un point de vue cérébral, la fatigue cognitive a été globalement associée avec l'activation de différentes aires cérébrales, notamment le réseau cortico-striatal, striatum, cortex préfrontal ventromédial, et le cortex cingulaire antérieur (Wylie et al., 2017). En accord avec la théorie liant la fatigue et la motivation, ces mêmes régions sont impliquées dans le traitement de l'effort et de la récompense (Wylie et al., 2017). En plus de ces activités cérébrales localisées, les circuits préfrontaux jouent un rôle très important dans la fatigue cognitive. Reliés à ces derniers, les ganglions de la base constitueraient un substrat cérébral majeur de la fatigue cognitive. En effet, les ganglions de la base et les structures du lobe frontal permettent de maintenir la performance. Les aires pariétales sont également utiles au maintien de l'attention prolongée (Chaudhuri & Behan, 2000). Une étude menée par Holtzer et al. (2011) suggère d'ailleurs une susceptibilité importante des substrats frontaux à la fatigue.

Le système de régulation double

Ishii et al., (2014) ont proposé un modèle de système de régulation qui serait composé de deux systèmes : le système de facilitation mentale et le système d'inhibition mentale. Les informations qui suivent sont résumées dans la Figure 3.

La charge mentale active le système de facilitation mentale pour maintenir la performance à la tâche cognitive malgré le fait d'être fatigué mentalement. Ce système de facilitation mentale est constitué de la boucle thalamico-frontale qui connecte entre eux le système limbique, les ganglions de la base, le thalamus et le cortex frontal. Une augmentation au niveau de la motivation peut augmenter l'activation de ce système (Ishii et al., 2014), ce qui rejoint les théories motivationnelles.

Toutefois, la charge mentale active aussi le système d'inhibition mentale qui altère la performance à la tâche cognitive. Dans ce système, c'est l'insula et le cortex cingulaire postérieur qui sont impliqués (Ishii et al., 2014). Le système d'inhibition mentale s'active quand l'organisme est fatigué afin de signaler qu'il est temps de se reposer pour éviter tout surmenage

(Tanaka & Watanabe, 2010). Ce système d'inhibition fait écho au gouverneur central évoqué par Evans et al., 2016 ainsi que Noakes et al., 2005.

Une charge mentale élevée active les systèmes de facilitation et d'inhibition mentales, ce qui résulte en une fatigue mentale élevée. L'activation du système de facilitation mentale maintient ou améliore la performance alors que le système d'inhibition mentale diminue la performance à la tâche cognitive. L'équilibre entre l'activation des deux systèmes détermine si la performance à la tâche sera maintenue, améliorée ou altérée. Ainsi, la performance à une tâche cognitive est dépendante de ce système de régulation double (Ishii et al, 2014).

La fatigue chronique et d'autres pathologies liées à la fatigue pourraient être dues soit à des dommages cérébraux menant à un échec du système de facilitation, soit à un conditionnement du système d'inhibition (Ishii et al., 2014 ; Tanaka et al., 2013 ; Tanaka et al., 2015). En effet, suite à un surmenage répétitif et/ou du stress, l'organisme peut exprimer un signal d'alarme ainsi que la sensation de fatigue en réponse à un stimulus inconditionné (homéostasie altérée) qui a été associé à un stimulus conditionné (surmenage, stress, anticipation de surmenage ou de stress). Ainsi, le seuil de signal d'alarme et de sensation de fatigue est abaissé, c'est ce qu'on appelle la sensibilisation centrale. Cela peut résulter en un signal d'alarme persistant à se reposer et une sensation sévère de fatigue, qui peut alors devenir la caractéristique d'une pathologie telle que le syndrome de fatigue chronique. Malheureusement, la persistance de ce signal d'alarme et la sensation sévère de fatigue peut mener à une inactivité physique et mentale, ce qui peut altérer le fonctionnement (Tanaka et al., 2010).

De plus, il faut savoir que l'effort volontaire améliore le système de facilitation, mais aussi le système d'inhibition. Or, l'activation du système d'inhibition altère le système de facilitation. Ce phénomène est d'autant plus important dans des cas de pathologies chroniques, ce qui mène à un cercle vicieux (Tanaka et al., 2013 ; Tanaka & Watanabe, 2015).

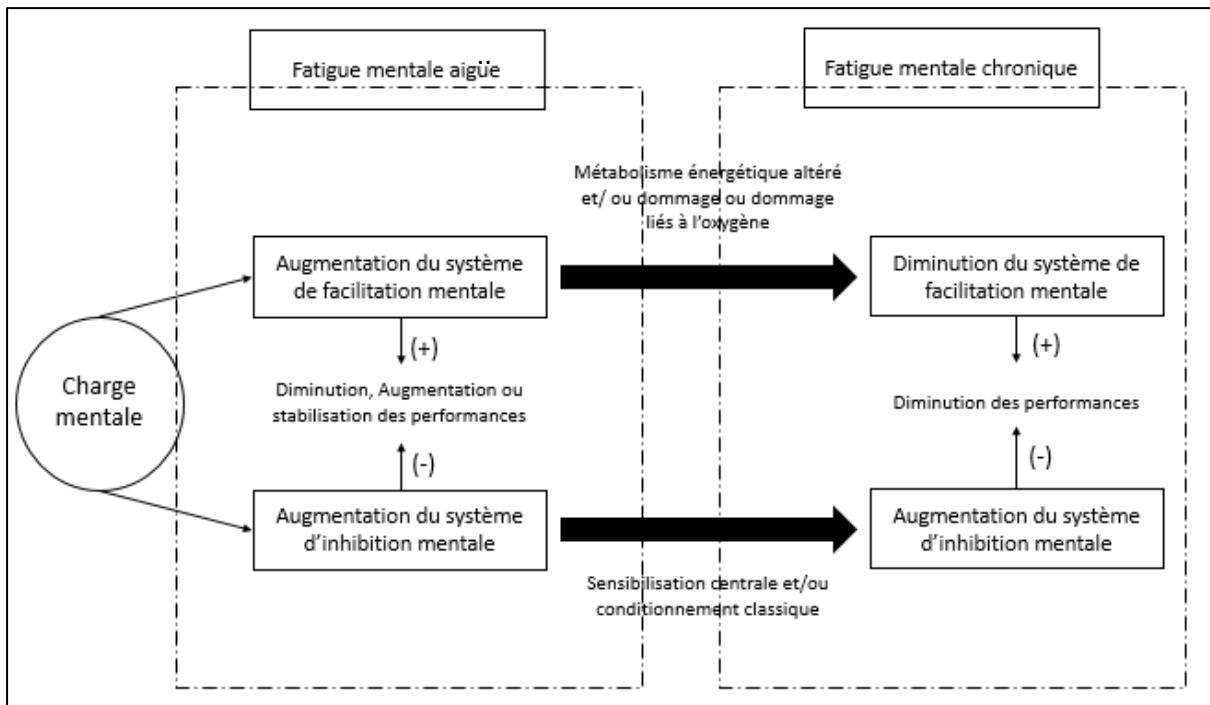


Figure 3. Le modèle de régulation double. (Schéma traduit et adapté de l'article de Ishii et al., 2014)

Mécanisme de compensation

En 2016, Wang et al. ont pu mettre en évidence un mécanisme de compensation au niveau de l'activité neuronale pour limiter le déclin de la performance. Plus spécifiquement, c'est le cortex frontal antérieur qui semble jouer un rôle dans la compensation de la fatigue. En effet, il n'y a pas de changement d'activation de cette zone lors de la phase précédent la fatigue, mais on observe une augmentation de l'activation de cette zone lors de la phase compensatoire, avec une augmentation de la performance. Enfin, l'activation diminue et est suivie par une phase de désengagement. La diminution de la performance s'accélère pendant la période de désengagement. Autrement dit, l'activation du cortex frontal antérieur suit une courbe en U inversé qui suit la performance du sujet. Cette idée de rôle de compensation jouée par un réseau préfrontal avait déjà été mentionnée dans d'autres études (Boksem & Tops, 2008 ; Wang et al., 2014).

Ces auteurs émettent l'hypothèse que cette activation neuronale reflète l'activité du cortex cingulaire antérieur et/ou du cortex orbitofrontal. En effet, ces deux régions ont été associées à une compensation bénéfique des réponses chez les participants plus âgés (Ansado et al., 2012 ; Habeck et al., 2012).

3. Au niveau de la transmission neuronale

Des explications comportementales, physiologiques et d'activité cérébrale ont été présentées afin d'expliquer la fatigue. Pour finir, certains neurotransmetteurs cérébraux pourraient également contribuer à l'explication de la fatigue.

Hypothèse dopaminergique

La fatigue a été associée à plusieurs reprises avec une altération des niveaux de dopamine, un neurotransmetteur modulatoire dans le système nerveux central et le système immunitaire (Foley & Fleshner, 2008 ; Lorist et al., 2009 ; Wang et al., 2014).

En 2009, Lorist et al. ont notamment suggéré que les niveaux de dopamine sont moins élevés chez les sujets fatigués. De manière générale, la déplétion de la dopamine est associée avec un comportement moins adapté à l'environnement, résultant en un manque de flexibilité et d'inhibition, ce qui mène à des difficultés de performances chez les sujets fatigués (Lorist et al., 2009).

La fatigue apparaîtrait alors à cause d'un déséquilibre au niveau de la dopamine. Plus le niveau de dopamine est élevé, moins on perçoit de fatigue, et vice-versa. Cette hypothèse n'est pas indépendante du cortex préfrontal puisque les régions fortement innervées par les neurones dopaminergiques sont le striatum et le cortex préfrontal (Dobryakova et al., 2015).

Selon Foley et Fleshner (2008), la perturbation de la neurotransmission de dopamine dans la substance noire diminue l'activation des ganglions de la base et du cortex moteur, menant à une réduction de la transmission neurale aux muscles squelettiques et ainsi au début de la fatigue. Ces auteurs suggèrent également que l'activité physique habituelle retarde la fatigue en induisant une certaine plasticité dans les circuits dopaminergiques impliqués dans le mouvement.

Enfin, il est utile de mentionner que la dopamine joue un rôle important dans la motivation, la mémoire, la récompense et l'attention (Meeusen et al., 2016). Autrement dit, dans différents aspects présents dans la fatigue, comme cela a déjà été évoqué précédemment.

Hypothèse sérotoninergique

L'hypothèse sérotoninergique propose qu'une augmentation des niveaux de sérotonine résulte en des sensations subjectives de léthargie et de fatigue, causant une sensation altérée de l'effort et, peut-être, une tolérance différente de la douleur et/ou de l'inconfort ainsi qu'une perte de motivation à continuer un exercice (Meeusen et al., 2006). Le système sérotoninergique est un modulateur important de l'humeur, des émotions, du sommeil et de l'appétit (Meeusen et al., 2006). Ce sont également des facteurs susceptibles d'engendrer la fatigue.

Toutefois, d'autres travaux ne montrent pas cette importance du rôle de la sérotonine. Davis et Bailey (1997) ont révisé l'hypothèse sérotoninergique en suggérant qu'une augmentation du ratio sérotonine-dopamine (le taux de sérotonine étant supérieur au taux de dopamine) est associée à des sentiments de somnolence et de léthargie, ce qui accélère l'arrivée de la fatigue. Inversement, un ratio plutôt faible (le taux de dopamine étant supérieur au taux de sérotonine) favorise une meilleure performance au travers du maintien de l'excitation et la motivation (Davies & Bailey, 1997).

En fait, il est peu probable qu'un seul système de neurotransmetteurs soit responsable de la fatigue cognitive. Il est vraisemblable que d'autres mécanismes soient impliqués, tels que d'autres neurotransmetteurs (Meeusen et al., 2006).

Finalement, les modèles semblent souvent se rejoindre en certains points sans s'accorder totalement. Si tout n'est pas encore clair au niveau des phénomènes sous-jacents à la fatigue cognitive, l'implication d'un composant exécutif, de la motivation, du cortex frontal et de la transmission dopaminergique dans l'explication de la fatigue semble maintenant bien établie.

C. Mesures de la fatigue cognitive

La fatigue est un phénomène particulièrement difficile à investiguer, principalement à cause de six raisons, toutes liées entre elles : absence d'une cause manifeste, nature subjective, chevauchement important avec d'autres phénomènes (apathie, dépression, etc.), croyance populaire que la fatigue est un symptôme secondaire, manque de définition précise ainsi qu'une terminologie confuse (Kuppuswamy, 2017).

Elle est généralement étudiée au moyen d'études comportementales, électrophysiologiques ou de neuroimagerie telles que l'imagerie par résonance magnétique, la tomographie par émission de positons ou la magnétoencéphalographie (Tanaka et al., 2015). Pour les besoins de cette étude, les études comportementales seront davantage illustrées.

Dans le domaine cognitif, la fatigue est mesurée au moyen des temps de réaction ou de niveau de précision dans des tâches menées sur une certaine période de temps (Kluger et al., 2013).

Pour prendre ces mesures, deux approches expérimentales sont généralement utilisées : le paradigme « Time-on-Task » et le « probe paradigm », aussi appelé effet de transfert. L'effet « Time-on-Task » réfère à l'évolution de la fatigue cognitive au fil du temps. Plus précisément, la fatigue est objectivée au moyen d'une diminution des temps de réaction. Une telle tâche est divisée en différentes blocs (ou parties) et ils seront comparés entre eux. Par contre, le « probe paradigm » réfère à l'effet de transfert sur une seconde tâche de la fatigue cognitive induite par une première tâche. La seconde tâche est appelée tâche cible ou tâche « probe », d'où le nom du paradigme. Dans cette étude, c'est le paradigme « Time-on-Task » qui sera utilisé (Borragan, 2016 ; Tava et al., 2018 ; Wang et al., 2014).

La variabilité des temps de réaction est souvent utilisée comme variable d'intérêt, même s'il peut être difficile de déterminer la signification de cette variabilité. En effet, elle peut être due à différents phénomènes tels que la détérioration fonctionnelle de systèmes sous-tendant la performance, l'engagement de systèmes associés avec le contrôle de l'effort ou de la fatigue, l'implication de processus compensatoires permettant de maintenir la performance, l'apprentissage ou d'autres processus liés au temps qui ne sont pas associés à la fatigue, tel que l'ennui (Wang et al., 2016). Néanmoins, mis à part le phénomène d'apprentissage, les autres difficultés mentionnées font partie du phénomène de la fatigue selon certains modèles. Les analyses portant sur la variabilité des temps de réaction peuvent donc être tout à fait pertinents dans le cadre d'une étude menée sur la fatigue.

En 2014, Wang et al. ont étudié la fatigue cognitive au moyen d'une tâche de Stroop informatisée. Dans cette tâche, un indice était présenté avant l'apparition du mot-stimulus. Il s'agissait du mot « Word » ou « Color ». Si le mot « Word » était présenté avant l'apparition du mot en question, le participant devait lire le mot à haute voix. Par contre, si le mot « Color » était présenté avant l'apparition du mot-cible, le participant devait nommer la couleur des lettres. 60% des mots présentés étaient congruents (ex. : le mot « rouge » écrit en rouge) et 40% étaient incongruents (ex. : le mot « rouge » écrit en vert). Le temps de réponse verbal était enregistré grâce à un logiciel. Cette tâche de Stroop est intéressante car elle requiert des processus exécutifs (inhibition) et attentionnels ainsi qu'une certaine vitesse de traitement. Cette combinaison va permettre de faire apparaître la fatigue cognitive (Möller et al., 2014) car la charge mentale est élevée. C'est sur cette étude que la tâche principale de ce travail se base, c'est-à-dire une tâche de Stroop informatisée prolongée dans le temps.

Pour analyser les résultats de leur étude, Wang et al. (2014) ont utilisé deux paramètres de variabilité intra-individuelle : l'écart-type du temps de réaction et le coefficient de variation du temps de réaction⁵. Les mêmes auteurs mentionnent que la distribution des temps de réaction n'est pas normalement distribuée. En fait, elle montre une asymétrie droite. Ainsi, la moyenne et la variance ne permettent pas de décrire précisément la distribution. Pour mieux rendre compte de cette dernière, les auteurs ont utilisé la distribution ex-gaussienne, qui résulte d'une distribution normale et d'une distribution exponentielle. Trois paramètres sont alors extraits de cette distribution : μ est la moyenne du composant Gaussien, σ est l'écart-type du composant gaussien et τ (tau) est à la fois la moyenne et l'écart-type du composant exponentiel. Un changement au niveau du tau correspond à un épaissement de la partie droite de la distribution. En d'autres termes, une augmentation du paramètre tau correspond à une augmentation de la quantité de réactions longs ou extrêmes. Cette distribution ex-gaussienne permet de mieux rendre compte de la distribution des temps de réaction (Wang et al., 2014). De la même manière, c'est cette distribution que nous utiliserons pour analyser les résultats de cette étude.

⁵ Le coefficient de variation est une mesure standardisée de la variation standard à la moyenne. Elle a un plus petit biais par rapport à la moyenne comparé à l'écart-type des temps de réaction, ce qui permet d'étudier la variabilité des changements de façon indépendante aux changements dans la moyenne générale de performance (Saville et al., 2011).

Une autre façon de mesurer objectivement la fatigue cognitive est la pupillométrie, c'est-à-dire une méthode mesurant les changements de taille de la pupille (McGarrigle et al., 2016). En fait, les dynamiques pupillaires sont liées aux niveaux corticaux de norépinéphrine, une substance libérée par le locus coreulus. Puisque ce dernier régule l'engagement dans la tâche et que la fatigue cognitive est en lien avec un désengagement dans la tâche, la pupillométrie permet donc d'avoir une mesure objective de la fatigue cognitive (Hopstaken et al., 2015; Hopstaken et al., 2016). Une pupille plus large est liée à un engagement dans la tâche plutôt qu'à un désengagement, à une attente de récompense et à une exploration plutôt qu'une exploitation (Hopstaken, et al., 2015). McGarrigle et al. (2016) ont également montré qu'une diminution de la taille de la pupille est liée à une augmentation des temps de réponse, ce qui correspondrait à l'apparition de la fatigue cognitive. Au fur et à mesure d'une tâche cognitive, la taille de la pupille diminue. Toutefois, si une récompense est ajoutée, le diamètre de la pupille augmente pour revenir à son état initial (Hopstaken et al., 2015).

Enfin, précisons que la fatigue mentale est souvent mesurée au moyen de questionnaires (Möller et al., 2014). Toutefois, l'expérience subjective de fatigue n'est pas toujours, voire pas du tout, associée à une mesure objective de fatigabilité définie comme étant une détérioration de la performance (Ashman et al., 2008 ; Boksem & Tops, 2008 ; Kohl, Wylie, Genova, Hillary, & DeLuca, 2009 ; Möller et al., 2014). Une explication proposée par Möller et al. (2014) est que ces questionnaires seraient également liés à d'autres variables telles que la dépression et les perturbations du sommeil. Ainsi, ils ne reflètent pas uniquement une mesure de fatigue. De plus, les questionnaires concernent souvent la fatigue de manière générale, alors que les tests de fatigabilité sont situationnels (Möller et al., 2014).

Plusieurs études expérimentales ont mis en évidence l'impact de la fatigue cognitive chez les jeunes et dans une moindre mesure chez des personnes âgées et middle-aged.

D. La fatigue cognitive au fil des âges

1. Fatigue cognitive et personnes jeunes

La fatigue cognitive entraîne certaines conséquences négatives, comme l'ont prouvées différentes études chez de jeunes adultes (Boksem et al., 2006; Lal & Craig, 2001; Lorist et al., 2009). Au fur et à mesure de l'installation de la fatigue cognitive, les personnes jeunes sont de plus en plus lentes, font plus d'erreurs et sont moins capables de les corriger. De plus, elles ont davantage de difficultés à s'ajuster après avoir commis une erreur (Boksem et al., 2006; Lorist et al., 2009 ; Wang et al., 2014). La fatigue cognitive contribue ainsi à la détérioration de la performance, ce qui peut entraîner des erreurs et augmenter le risque d'accidents (Lal & Craig, 2001). De façon plus générale, la fatigue cognitive diminue la vigilance lors de la réalisation de tâches cognitives (Lal & Craig, 2001).

Au niveau cérébral, Persson, Larsson, et Reuter-Lorenz (2013) ont observé un changement d'activation cérébrale suite à une tâche fatigante. Plus précisément, l'activité cérébrale de l'hémisphère gauche diminue, alors que l'activité cérébrale de l'hémisphère droit augmente. Cet échange hémisphérique controlatéral rendrait compte d'une diminution des ressources disponibles dans l'hémisphère gauche, qui serait compensée par l'activation de l'autre hémisphère (Persson et al., 2013). Cette « stratégie cérébrale » est surtout observée pour les régions frontales et pariétales, qui seraient plus flexibles (Taya et al., 2018).

2. Fatigue cognitive et avancée en âge

L'âge semble être un facteur exerçant une influence significative sur la fatigue. L'avancée en âge est accompagnée de changements au niveau cérébral, tels qu'une atrophie cérébrale, un déclin dans la matière blanche et grise, etc. (Park & Reuter-Lorenz, 2009). Trois grandes théories tentent d'expliquer ces changements : le modèle HAROLD (Cabeza, 2002), la théorie CRUNCH (Reuter-Lorenz & Cappell, 2008) et la théorie STAC (Park & Reuter-Lorenz, 2009).

L'idée principale du modèle HAROLD (Hemispheric Asymmetry Reduction in Older Adults ; Cabeza, 2002) est que, dans des circonstances similaires, l'activité préfrontale, que l'on retrouve pendant des performances cognitives, a tendance à être moins latéralisée chez les adultes âgés par rapport aux adultes jeunes. Par exemple, dans le cas de la récupération en mémoire épisodique, l'activité du cortex préfrontal est latéralisée à droite chez les adultes jeunes. Par contre, chez les personnes âgées, il y a une augmentation de l'activation du cortex préfrontal dans l'hémisphère gauche. Cette réduction de l'asymétrie est également retrouvée chez des adultes jeunes lorsque la fatigue cognitive s'est installée (Persson et al., 2013). Deux explications sont données à cette réduction de l'asymétrie. Premièrement, elle aurait un rôle compensatoire, en permettant au cerveau âgé de contrecarrer les déficits neurologiques. Deuxièmement, elle refléterait une dédifférenciation, signifiant que le vieillissement serait associé à des mécanismes neuronaux de moins en moins spécifiques. Toutefois, les deux explications peuvent se recouvrir (Cabeza, 2002).

L'hypothèse CRUNCH (Compensation-Related Utilization of Neural Circuits Hypothesis ; Reuter-Lorenz & Cappell, 2008) propose que les adultes âgés recrutent plus de ressources neurales pour compenser d'autres circuits neuronaux qui sont devenus moins efficaces avec le temps. Cette activation compensatoire est suffisante pour des tâches cognitives peu exigeantes, mais pas lorsque l'exigence devient plus élevée. Dans ce cas, les ressources ne sont pas suffisantes et une réduction de la performance est observée chez les personnes plus âgées (Reuter-Lorenz & Cappell, 2008).

Selon le modèle STAC (Scaffolding Theory of Aging and Cognition ; Park & Reuter-Lorenz, 2009), l'augmentation généralisée de l'activation frontale avec l'âge est un signe que le cerveau s'adapte et s'engage dans un « échafaudage » compensatoire en réponse à des problèmes posés par le déclin des structures et des fonctions neurales. Cet « échafaudage » est un processus normal qui implique l'utilisation et le développement de circuits neuronaux complémentaires et alternatifs pour parvenir à un but cognitif spécifique. Plus précisément, cet échafaudage résulte en des changements dans les fonctions du cerveau à travers le renforcement de connexions existantes, la formation de nouvelles connexions et la non-utilisation de connexions qui sont devenues faibles ou défectueuses (Park & Reuter-Lorenz, 2009).

Il faut également savoir que les fonctions médiées par les cortex frontal et préfrontal sont parmi les premiers processus cognitifs à décliner avec l'avancement en âge (Holtzer et al., 2011). Or, ce sont les fonctions les plus vulnérables à la fatigue.

3. Fatigue cognitive et personnes middle-aged

Si les adultes âgés sont de plus en plus étudiés, les personnes se situant entre les adultes jeunes et les adultes âgés, appelées les « Middle-aged » (40-65 ans) le sont peu. Pourtant, déjà avant la cinquantaine, il y a une atrophie globale ainsi que des changements progressifs au niveau du lobe frontal et de ses connexions qui sont apparents (Ferreira et al., 2015 ; Salat et al., 2004). Des déclins au niveau cognitif apparaissent avant l'âge de 50 ans au niveau de la vitesse de traitement, l'attention divisée, l'attention soutenue pour des tâches complexes, la mémoire de travail, surtout au niveau de la manipulation des informations. Globalement, les fonctions les plus complexes sont les fonctions qui sont touchées le plus tôt (Ferreira et al., 2015).

Dans le contexte de la fatigue cognitive, il a également été montré que, lors d'une tâche d'encodage en mémoire de travail, l'activation est plus grande au niveau du cortex pariétal et préfrontal chez les middle-aged en comparaison aux adultes plus jeunes dans la condition contrôle. Toutefois, lorsque la charge de travail est augmentée (dans la condition fatigante), cette différence est effacée, car l'activation diminue chez les personnes middle-aged alors qu'elle augmente chez les adultes jeunes. Cette diminution de l'activité corticale chez les personnes middle-aged pourrait refléter l'épuisement des ressources neurales (Klaassen et al., 2014; Klaassen et al., 2016).

De plus, les effets de la fatigue cognitive semblent se manifester de façon différente en fonction de l'âge des personnes. Par exemple, si la vitesse décroît chez les adultes jeunes et middle-aged, la précision est influencée par la fatigue cognitive seulement chez les adultes plus jeunes (de Jong et al., 2018). Les adultes plus âgés et les middle-aged privilégient la précision, alors que les adultes plus jeunes privilégient plutôt la vitesse (de Jong et al., 2018).

Une étude récemment réalisée au Centre de Recherches du Cyclotron (Gilsoul et al., under review), souhaitant explorer cette relation entre le vieillissement et la fatigue, a montré que les adultes middle-aged seraient plus susceptibles aux effets de la fatigue cognitive que les personnes jeunes, mais également que des adultes plus âgés. En effet, l'administration d'une tâche de Stroop (Stroop, 1935) informatisée durant 160 minutes sans interruption a permis de mettre en évidence un ralentissement significatif de la vitesse de traitement (plus précisément, une augmentation du paramètre tau) à mesure du temps passé sur la tâche chez les middle-aged alors que les deux autres groupes (jeunes et âgés) maintenaient leur paramètre tau constant. Parmi les hypothèses formulées par les auteurs de ce récent travail, une qualité de vie réduite (vie active et stress lié au travail, responsabilités quotidiennes, régime alimentaire et facteurs de santé plus médiocres, peu de loisirs, etc.) comparativement aux deux autres groupes d'âge pourrait expliquer une charge mentale de base plus élevée chez les personnes middle-aged les rendant plus susceptibles aux effets de la fatigue cognitive.

E. Facteurs pouvant impacter la fatigue cognitive

Cette fatigue cognitive peut être influencée et prédictive par différents facteurs : demandes de travail élevées, faible support social, sexe féminin, âge, incapacité à s'arrêter de penser au travail pendant les moments de temps libre, la faim, la soif, la santé physique, l'environnement, l'activité physique, les périodes de récupération, des buts intrinsèques en conflit, des conditions psychosociales non favorables, des températures extrêmes, un éclairage insuffisant, une pression de temps, une inquiétude à propos de la famille, le trafic dense, etc. (Akerstedt et al., 2004; Hockey, 2011; Lal & Craig, 2000; Phillips, 2015 ; Tanaka et al., 2008; Taylor & Dorn, 2006; Vestergaard et al., 2009).

La privation de sommeil, ou un sommeil perturbé, est souvent mentionnée comme étant l'élément qui prédit le mieux la fatigue (Akerstedt et al., 2004 ; Herlambang et al., 2019). Toutefois, ce résultat semble aujourd'hui remis en cause. Par exemple, Havliskova et al. (2008) ont montré que le sommeil et les troubles du sommeil sont indépendants de la fatigue, qu'elle soit mentale ou physique.

Les divergences de résultats entre les études pourraient être expliquées par l'étude de deux types de fatigue. En effet, selon May et Baldwin (2009), le concept de fatigue pourrait être subdivisé en deux catégories : la fatigue liée à au sommeil et la fatigue liée à la tâche. Ces deux types de fatigue seraient chacune impactées par des facteurs différents. La fatigue liée au sommeil serait affectée par les rythmes circadiens, c'est-à-dire de façon très brève, notre horloge interne. Ainsi, la fatigue va varier selon le moment de la journée. De plus, la fatigue, liée au sommeil, est également influencée par des facteurs homéostatiques tels que la privation ou la restriction de sommeil et la durée prolongée de l'éveil. Par exemple, plus une personne reste éveillée longtemps, plus la performance devient mauvaise. Le fait de ne pas avoir dormi suffisamment va également résulter en un déclin de performance (May & Baldwin, 2009). Par contre, la fatigue liée à la tâche est plutôt engendrée par des facteurs relatifs à la tâche ou à l'environnement. En fonction du type de fatigue étudié, l'effet du sommeil sur les performances sera plus ou moins élevé.

La qualité de vie et les multimorbidités semblent également jouer un rôle important dans l'apparition de la fatigue cognitive.

1. Fatigue cognitive et qualité de vie

La qualité de vie est un concept difficile à définir. En 1994, l'OMS définit la qualité de vie comme étant « la perception qu'a un individu de sa place dans l'existence, dans le contexte de la culture et du système de valeurs dans lesquels il vit, en relation avec ses objectifs, ses attentes, ses normes et ses inquiétudes. Il s'agit d'un large champ conceptuel, englobant de manière complexe la santé physique de la personne, son état psychologique, son niveau d'indépendance, ses relations sociales, ses croyances personnelles et sa relation avec les spécificités de son environnement » (WHOQOL group, 1994, p.6). Plus globalement, il y a un consensus sur le fait que la qualité de vie est un concept englobant différentes dimensions : l'état physique, les sensations somatiques, l'état psychologique et le statut social (Leplège, 2001). Or, il est prouvé, comme cité ci-dessus, que l'état physique, certaines maladies, l'anxiété, la dépression et les relations sociales sont susceptibles d'influencer ou prédire la fatigue cognitive (Akerstedt et al., 2004; Hockey, 2011; Lal & Craig, 2000; Phillips, 2015 ; Tanaka et al., 2008; Taylor & Dorn, 2006; Vestergaard et al., 2009).

Les comportements sains tels que le fait de ne pas fumer, manger des légumes, avoir une activité sociale et d'autres facteurs sont associés à de meilleures fonctions cognitives. Plus précisément, le nombre de comportements sains est négativement associé à de pauvres capacités exécutives et mnésiques. Inversement, des comportements non sains impactent négativement les performances cognitives (Kesse-Guyot et al., 2014). Or, les fonctions exécutives, notamment, sont importantes dans le contrôle de la fatigue cognitive.

De plus, il a été montré que la fatigue est associée à une diminution de la qualité de vie, comme cela a été démontré dans certaines études, même lorsque d'autres symptômes comme la dépression sont contrôlés (Kluger et al., 2013).

Dans cette qualité de vie, le concept d'âge subjectif (ou âge ressenti) peut également être retrouvé. Selon Stephan et al. (2015), l'âge subjectif correspond à l'âge qu'une personne se sent avoir par rapport à son âge chronologique. Un âge subjectif peu élevé est lié à un meilleur bien-être, de plus faibles symptômes dépressifs, une meilleure santé, ainsi qu'une meilleure cognition (Stephan et al., 2015). La plupart des adultes plus âgés rapportent un âge subjectif plus jeune que leur âge réel. Il semblerait que plus une personne avance en âge, plus la différence entre l'âge subjectif et l'âge réel se creuse (Hubley & Russell, 2009).

En plus d'un âge subjectif qui devient de plus en plus important avec l'âge, il peut être supposé que la période de vie des middle-aged est chargée en stress : gestion des finances, enfants à charge, parents à charge, travail à temps plein, etc.

En 2004, Akerstedt et al. remarquent un effet significatif de l'âge avec une fatigue plus faible. Cela semble contre-intuitif. Les auteurs suggèrent alors que la charge de travail est plus faible chez les groupes de personnes plus âgées, ce qui expliquerait ces résultats. Ceci semble fournir un appui de plus en faveur de l'hypothèse liant la fatigue cognitive à la qualité de vie.

2. Fatigue cognitive et dépression

La dépression est fortement liée à la fatigue, qu'elle soit mentale ou physique. Au plus les personnes présentent des symptômes de dépression, au plus elles rapportent de la fatigue. Toutefois, il faut être prudent par rapport à la relation entre la fatigue et la dépression. En effet, il y a un chevauchement non négligeable entre ces deux concepts : la fatigue est un critère diagnostic de dépression (Gullo et al., 2019 ; Havlikova et al., 2008).

Par ailleurs, la dépression serait plutôt associée à la dimension mentale de la fatigue, mais pas à sa dimension physique (Lou et al., 2001).

En 2002, Janardhan et Bakshi rapportent que la fatigue est indépendamment associée à une plus faible qualité de vie après avoir contrôlé le handicap physique et la dépression. La fatigue et la dépression seraient donc associées à une moins bonne qualité de vie de façon indépendante (Janardhan & Bakshi, 2002).

Les liens entre la fatigue, la dépression et la qualité de vie de manière plus générale sont encore assez flous à l'heure actuelle.

3. Fatigue cognitive et multimorbidités

La fatigue cognitive n'affecte pas tout le monde de la même façon. En effet, les personnes atteintes par certaines pathologies expérimentent la fatigue cognitive presque tout le temps, contrairement aux personnes saines qui la ressentent de façon occasionnelle (Wylie et al., 2017). Parmi ces conditions, il y a les traumatismes crâniens, AVC, sclérose en plaque, sclérose amyotrophique latérale, arthrite rumatoïde, arthrite inflammatoire, ostéoarthrite, diabète, SIDA, cancers, syndrome de fatigue chronique, migraines, dyskinésie paroxysmale, Parkinson, dégénérescence de la voie nigro-striée, dépression, encéphalopathie, déficience en vitamines B12, syndrome de fatigue post-polio, maladies des neurones moteurs, épilepsies, Alzheimer, maladie de Huntington, maladies cardio-vasculaires, etc. (Aaronson et al., 1999; Chaudhuri & Behan, 2000; Kluger, et al., 2013 ; Wylie et al., 2017). De plus, c'est un effet secondaire de nombreux traitements pharmacologiques (Kuppuswamy, 2017).

La multimorbidité est définie comme étant la co-occurrence de deux maladies ou plus chez une personne (Van den Akker et al., 1998). C'est un phénomène commun qui touche entre 10 et 78% des personnes. Il a également été démontré que la multimorbidité est plus élevée chez les personnes âgées, les femmes, les personnes isolées et les personnes avec un plus bas niveau d'éducation (Aarts et al., 2011; Barnett et al., 2012 ; Van den Akker et al., 1998). L'association entre l'augmentation de la multimorbidité et l'avancée en âge est bien connue. Cependant, Barner et al. (2012) ont mis en évidence trois aspects importants. Premièrement, les personnes âgées de plus de 65 ans présentent davantage de morbidités. Néanmoins, en termes absolus, ce sont les personnes âgées de moins de 65 ans qui présentent davantage de multimorbidités. Autrement dit, si c'est le nombre de conditions pathologiques au sein d'une même personne qui est pris en compte, ce sont les personnes âgées qui en présentent le plus. En revanche, si c'est le nombre de personnes présentant deux conditions pathologiques ou plus, ce sont les personnes de moins de 65 ans qui sont le plus représentées. Deuxièmement, ils observent un excès significatif de multimorbidités chez les jeunes et les middle-aged adultes qui vivent dans des milieux défavorisés. Troisièmement, les troubles de santé mentale sont plus présents chez les personnes qui ont un grand nombre de troubles physiques. En 2011, Aarts et al. ont mené une étude qui conclut que toute une série de conditions médicales affectent négativement la cognition. Toutefois, ces effets sont assez minimes dans une population saine.

En outre, il existerait une relation inverse entre la multimorbidité et la qualité de vie quand les différentes conditions médicales sont regroupées en sous-groupes. Cette multimorbidité aurait un plus grand impact sur la qualité de vie quand les patients sont âgés de plus de 55 ans que lorsqu'ils sont âgés de moins de 55 ans (Wang, Palmer, Cocker, & Sanderson, 2017).

OBJECTIFS ET HYPOTHESES

Dans ce travail, les facteurs subjectifs influençant l'apparition de la fatigue cognitive chez les personnes middle-aged ont été étudiés. Pour rendre compte de cette fatigue, une tâche de Stroop de 100 minutes, divisée en quatre blocs de 25 minutes, a été administrée aux participants. Les temps de réaction aux items réussis ont été mesurés et l'évolution des temps de réaction extrêmes a été analysée grâce à l'analyse du paramètre tau de la distribution ex-gaussienne dans chaque bloc. L'apparition de la fatigue sera objectivée par une augmentation du nombre des temps de réaction extrêmes (représenté par le paramètre tau) au cours de la tâche. Il s'agit de l'effet Time-on-Task (Borragan, 2016 ; Burke et al., 2018, Tava et al., 2018 ; Wang et al., 2014). Les temps de réaction extrêmes aux réponses correctes constituent donc la variable d'intérêt de ce travail qui sera prédite par le temps passé sur la tâche (le facteur bloc) ainsi que différents régresseurs subjectifs grâce à des modèles mixtes généralisés.

Nous pensons qu'après la réalisation de cette tâche, des symptômes communément liés à la fatigue vont apparaître : augmentation de la fatigue et de l'effort fourni ainsi qu'une diminution de l'éveil et de la motivation. De ce fait, cela est typiquement retrouvé dans la littérature (Boksem & Tops, 2008, Burke et al., 2018 ; Lal & Craig, 2001; Lorist et al., 2000; Lorist et al., 2009 ; Tanaka et al., 2015, Wang et al., 2014). Cela sera testé au moyen des échelles VAS (fatigue, motivation, effort) et de la KSS.

Ensuite, nous allons tenter de déterminer dans quelle mesure des variables subjectives peuvent expliquer l'augmentation des temps de réaction longs au fil de la tâche, et donc la fatigue cognitive. Pour ce faire, nous avons sélectionné sept variables que nous utiliserons comme régresseurs : bloc, santé subjective, âge subjectif, dépression, fatigue cognitive, fatigue physique et éveil subjectif. Ils sont détaillés dans la suite de cette partie.

La variable bloc repose sur l'effet Time-on-Task. La tâche de Stroop de 100 minutes est divisée en quatre blocs de 25 minutes chacun. L'augmentation des temps de réaction reflétant la fatigue cognitive (Borragan, 2016 ; Tava et al., 2018 ; Wang et al., 2014), il est supposé que les temps de réaction aux items réussis dans les blocs 3 et 4 seront plus lents que les temps de réaction aux items réussis dans les blocs 1 et 2. Si cela se voit confirmé, cela soutiendra l'hypothèse que le temps passé sur la tâche contribue donc à l'apparition de la fatigue cognitive. Ainsi, nous nous assurons de la pertinence de cette tâche dans l'étude de la fatigue cognitive.

Les résultats de l'étude menée au Centre de Recherches du Cyclotron (Gilsoul et al., under review) ont permis de mettre en évidence que les personnes middle-aged (40-65 ans) semblent particulièrement sensibles aux effets de la fatigue cognitive. Pour expliquer ces résultats, deux hypothèses ont été avancées concernant la qualité de vie et la santé. Ce travail va donc, entre autres, explorer ces deux facteurs. La qualité de vie regroupant un ensemble de facteurs, il a été choisi de cibler la mesure de l'âge subjectif dans ce travail car c'est un facteur lié à la cognition qui semble augmenter avec l'âge (Hubley & Russell, 2009 ; Stephan et al., 2015). Pour calculer ce facteur, les participants ont répondu à la question « Au fond de moi-même, j'ai le sentiment d'avoir ... ans ». La réponse à cette question est ensuite déduite de l'âge réel de la personne. L'hypothèse de ce travail est que les personnes ayant une plus grande différence entre leur âge subjectif et leur âge réel résisteront moins à l'induction de la fatigue cognitive au travers de la tâche de Stroop, et ce, en montrant des temps de réaction augmentant au fur et à mesure de la tâche. La santé subjective sera mesurée au moyen de questionnaires créés pour cette étude et reprenant une liste de morbidités à cocher. L'hypothèse est que les personnes avec un niveau de santé subjectivement plus médiocre seront plus sensibles à l'induction de la fatigue cognitive lors de la tâche de Stroop, et montreront donc des temps de réaction de plus en plus élevés au fur et à mesure de la tâche.

La dépression sera également testée au moyen du questionnaire CES-DS (Fuhrer & Rouillon, 1989). En effet, la dépression est fortement liée à la fatigue (Gullo et al., 2019 ; Havlikova et al., 2008). Notre hypothèse est que plus les personnes montrent un niveau élevé de dépression, moins elles résisteront à l'induction de la fatigue.

Ensuite, nous tenterons de découvrir dans quelle mesure les résultats obtenus à un questionnaire de fatigue sont liés à l'apparition de la fatigue cognitive dans la tâche de Stroop. En effet, les réponses à ces questionnaires rendent compte d'une fatigue subjective (ou fatigabilité perçue) et ne sont pas toujours concordant avec l'apparition de la fatigue objective (ou fatigabilité de performance) (Ashman et al., 2008 ; Kohl, Wylie, Genova, Hillary, & DeLuca, 2009 ; Möller et al., 2014). Dans cette étude, nous séparons la fatigue cognitive de la fatigue physique pour voir leur impact respectif sur l'apparition de la fatigue. Pour ce faire, les participants ont répondu à des questionnaires, mesurant chacun les deux versants de la fatigue : la BFS (Mairesse et al., 2017) et la FSMC (Penner et al., 2009). La fatigue subjective et objective étant toutefois liées puisque les deux représentent une perception (Enoka et Duchateau, 2016), nous pensons que plus les scores obtenus aux deux échelles sont élevés, plus la personne montrera rapidement une détérioration de ses temps de réaction, et donc une fatigue cognitive s'installant

plus rapidement. Nous suggérons également que la fatigue cognitive sera davantage liée à ce déclin de performance que la fatigue physique.

L'éveil subjectif sera également étudié dans ce travail. Il est mesuré au moyen de la KSS (Kaida et al., 2006). Nous pensons que moins une personne rapporte un niveau d'éveil élevé, plus ses performances seront affectées rapidement par la fatigue cognitive et donc, que ses temps de réaction diminueront fortement au cours de la tâche.

Tous les tests et questionnaires cités ci-dessus vont être détaillés dans la partie « outils ».

Ainsi, cette étude visera principalement à déterminer dans quelle mesure les questionnaires de fatigue cognitive et physique, l'âge subjectif, la dépression, les morbidités et le niveau d'éveil subjectif permettent d'expliquer l'apparition de la fatigue cognitive chez des personnes âgées entre 40 et 65 ans tout-venant lors d'une tâche de Stroop.

Précisons que cette étude s'inscrit dans un protocole plus large, ce qui nous a amenées à récolter d'autres données que nous ne traiterons pas dans ce travail. Toutes les mesures récoltées seront présentées au lecteur dans la partie méthodologie ; celles que l'on a décidé d'inclure seront mises en évidence (en gras). À terme, un plus grand échantillon sera obtenu, ce qui permettra d'inclure un plus grand nombre de variables dans les analyses.

II. METHODOLOGIE

A. Participants

Afin de réaliser cette étude, 78 personnes, âgées de 40 à 65 ans et ayant le français comme langue maternelle, ont été recrutées grâce aux réseaux sociaux et au bouche à oreille. Ils ont signé un consentement libre et éclairé écrit et ont reçu vingt euros en guise de dédommagement. Pour leur présenter l'étude, il leur était annoncé que celle-ci portait sur les capacités de concentration afin de ne pas biaiser les résultats. À la fin de la tâche de Stroop, un débriefing était réalisé où l'objectif d'étude de la fatigue leur était expliqué. La lettre d'information et de débriefing se trouvent en annexe (respectivement Annexe 1 et Annexe 2).

Le seul critère d'exclusion était de ne pas être daltonien afin de pouvoir distinguer les couleurs de la tâche de Stroop. Parmi ces 78 sujets, 7 ont été exclus de l'étude car il y avait trop de données manquantes (1), un problème de l'administration de la tâche de Stroop (4) ou moins de 100 réponses correctes⁶ par type d'item dans chaque bloc à la tâche de Stroop (2). L'échantillon total comportait donc 71 sujets.

La moyenne d'âge est de 50 ans chez les femmes (50.73 ± 5.23) et de 52 ans chez les hommes (52.13 ± 6.55). La répartition des variables démographiques dans l'échantillon se trouve dans le Tableau 1.

⁶ 100 réponses correctes dans chaque bloc est le minimum nécessaire pour s'assurer que l'algorithme permettant d'obtenir les paramètres μ , σ , τ de la distribution ex-gaussienne converge correctement (Heathcote et al., 1991 ; voir infra).

Tableau 1. Répartition de l'échantillon au niveau des variables sexe, latéralité, niveau d'étude et revenu salarial du ménage ainsi que les performances à la fNART

| | Fréquences | | | |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|----------------|----------------|
| Sexe | | | | |
| - Hommes | 30 | | | |
| - Femmes | 41 | | | |
| Latéralité | | | | |
| - Droitier | 60 | | | |
| - Gaucher | 3 | | | |
| - Gaucher contrarié | 5 | | | |
| - Données manquantes | 3 | | | |
| Niveau d'étude | | | | |
| - Secondaire inférieur | 8 | | | |
| - Secondaire supérieur | 24 | | | |
| - Haute école | 23 | | | |
| - Université | 16 | | | |
| Revenu salarial du ménage | | | | |
| - Moins de 1000 euros | 1 | | | |
| - Entre 1000 et 2500 euros | 24 | | | |
| - Entre 2500 et 4000 euros | 29 | | | |
| - Plus de 4000 euros | 17 | | | |
| | Moyenne | Ecart-type | Minimum | Maximum |
| fNART | 27.37 | 4.39 | 14 | 36 |

D'autres données démographiques seront disponibles dans la section « variables démographiques ».

B. Outils

1. Questionnaires

La fiche des données démographiques administrée recensait diverses variables : sexe, âge, nationalité, ethnie, langue, niveau d'éducation, type d'emploi, revenus, statut marital, enfants / parents à charge, profil médical (IMC, atteintes neurologiques, daltonisme, troubles d'apprentissage, troubles psychologiques ou psychiatriques, démence, consommation de drogues, de tabac ou d'alcool, médicaments, dioptrie). La plupart de ces variables sont reprises dans les données démographiques. Pour d'autres, il a été décidé de ne pas les traiter. Les questions relatives aux IMC, atteintes neurologiques, troubles d'apprentissage, troubles psychologiques ou psychiatriques et démences ont servi à compléter l'échelle de comorbidités.

La fNART (Adaptation française du « National Adult Reading Test ») est un test permettant d'estimer les habiletés intellectuelles pré morbides. C'est un indicateur robuste de la démence. Le sujet doit prononcer 40 mots dont l'orthographe est irrégulière tels que « isthme », « chorion », « gars », etc. La corrélation du test avec les études de l'intelligence cristallisée, de la mémoire et de la vitesse de traitement est $R=0,62$, ce test est donc valide pour mesurer l'intelligence (Mackinnon & Mulligan, 2005). Pour corriger ce test, les réponses correctes sont additionnées, ce qui donne un score sur 40 points.

L'échelle de Charlson est un questionnaire reprenant différentes conditions médicales telles que : tumeur solide métastatique, SIDA, hémiplégie, diabète avec atteinte d'un organe cible, AVC, maladie ulcéreuse, etc. À l'origine, elle a été créée pour estimer le risque de mortalité (Charlson et al., 1987). Pour notre étude, nous avons demandé aux participants de répondre deux fois à ce questionnaire : une fois pour le passé et une autre fois pour le présent. Les conditions sont pondérées dans l'article de référence, ce qui permet de corriger le test. Les données obtenues à cette échelle n'ont pas été utilisées pour l'étude car elles étaient peu variables (passé : 0.3 ± 0.81 ; présent : 0.14 ± 0.42 ; l'échelle pouvant aller de 0 à 35 points).

Une **échelle de multimorbidités** a été créée pour cette étude et a été validée par un neurologue. Celle-ci reprend diverses conditions pathologiques susceptibles d'avoir une influence sur la fatigue. Elle se fait également en deux étapes : passé et présent. Toutes les conditions ont été pondérées grâce à des mesures d'invalidité et de risque (Com-Ruelle et al., 1997) et validées par un neurologue. Les pondérations se situent en annexe (Annexe 3). Les scores obtenus pour chaque mesure (score invalidité passé, score invalidité présent, score de risque passé, score de risque présent) corrélant fortement entre eux, un score composite a été créé pour traiter ces données (explication du score composite dans la partie « statistiques »).

Le questionnaire MEDAS (Mediterranean Diet for Adherence Screener ; Schröder et al., 2010) comporte 14 questions relatives aux habitudes alimentaires de type « régime méditerranéen ». Les sujets doivent choisir entre deux réponses, qui sont différentes pour chaque question. Chaque réponse fait gagner 0 ou 1 point, le tout étant additionné et donnant une note totale sur 14 points.

Le **questionnaire d'âges et d'état de santé subjectifs** demande aux participants de noter l'âge qu'ils se sentent avoir au niveau de leur physique, centres d'intérêts, activité, et au niveau psychologique. Ensuite, il est demandé aux participants d'évaluer leur état de santé subjectif sur une échelle de 0 (très mauvais état de santé) à 10 (très bon état de santé). Les valeurs retenues de ce questionnaire sont : la différence entre l'âge réel et l'âge subjectif (au niveau psychologique) et le score de santé subjectif brut.

La **CES-DS** (Center for Epidemiologic Studies-Depression Scale ; Fuhrer & Rouillon, 1989) cherche à identifier une symptomatologie dépressive et à en évaluer la sévérité. Elle consiste en un questionnaire auto-rapporté de 20 items à compléter en fonction de son humeur au cours des sept derniers jours. La fréquence des symptômes est à compléter selon une échelle de Likert allant de 0 (jamais, très rarement) à 3 (fréquemment, tous le temps). Les scores sont calculés selon la pondération proposée dans l'article.

La STAI forme Y (State-trait Anxiety Inventory ; Spielberger, 1983; Inventaire d'anxiété trait-état ; Schweitzer & Paulhan, 1990) pour adultes est un questionnaire comprenant 40 items destiné à autoévaluer l'anxiété-état et l'anxiété-trait. L'anxiété-état est une crainte, une nervosité ou un inconfort qui active le système nerveux autonome temporairement lorsqu'une situation est perçue comme étant dangereuse. Par contre, l'anxiété-trait est une tendance à être stressé ou inquiet de façon relativement durable. Les scores sont calculés à partir des pondérations proposées dans l'article.

Le WHOQOL-BREF (World Health Organisation assessment of Quality of Life, version brève ; Skevington et al., 2004) est un questionnaire évaluant la qualité de vie. Quatre domaines sont représentés : physique, psychologique, social et environnemental. Il s'agit de répondre à 26 questions au moyen d'une échelle de Likert allant de très faible / très insatisfait / pas du tout / très difficilement/ jamais à très bonne / très satisfait / extrêmement / très facilement / toujours, selon les questions. Les scores sont calculés à partir des pondérations proposées dans l'article.

Le IQSP (Indice de Qualité de Sommeil de Pittsburgh ; Blais et al., 1997) est un questionnaire visant à identifier les troubles du sommeil. Il comporte 11 questions reflétant sept composantes du sommeil : qualité de sommeil, latence, durée, efficacité habituelle du sommeil, perturbations du sommeil, utilisation de tranquillisants et le fonctionnement durant la journée. Les scores sont calculés au moyen des pondérations proposées dans l'article.

Le questionnaire de somatisation (Vander Haegen & Etienne, 2015) reprend huit symptômes : insomnie en début de nuit, insomnie au milieu de la nuit, insomnie en fin de nuit, perte d'énergie, perte ou prise de poids, symptômes gastro-intestinaux, maux de tête, trouble relatif à la sexualité. Les participants répondent grâce à une échelle de Likert allant de 1 (pas du tout) à 5 (extrêmement). Une solution supplémentaire est possible : non applicable. Les scores à ce questionnaire sont ensuite additionnés pour obtenir un score global.

La **BFS** (Brugmann Fatigue Scale ; Mairesse et al., 2017) permet d'estimer le niveau de fatigue subjective, mentale et physique, en évaluant la propension au repos. Les sujets doivent lire huit situations quotidiennes (quatre pour la fatigue mentale et quatre pour la fatigue physique) et déterminer leur besoin de repos dans une telle situation. Les personnes doivent évaluer ce besoin grâce à une échelle de Likert allant de 0 à 4 (« Il est improbable que je doive me reposer » à « Il est quasiment sûr que je doive me reposer »). Pour corriger ce questionnaire, les scores sont additionnés pour chaque partie, ce qui permet d'obtenir un score pour la fatigue physique et un score pour la fatigue mentale.

L'EES (Echelle de somnolence d'Epworth ; Johns, 1991) est un questionnaire estimant le niveau de sommeil subjectif durant la journée. Le sujet lit huit situations quotidiennes différentes et détermine quelle est la probabilité de s'endormir sur une échelle de Likert à 4 points. Les scores obtenus sont additionnés pour obtenir le score total.

Le FSS (Fatigue Severity Scale ; Krupp et al, 1989) est un instrument de mesure auto-rapportée utilisé pour estimer le niveau de fatigue et ses effets dans le fonctionnement quotidien. Les sujets doivent remplir des échelles de Likert allant de « Ne me correspond pas » à « Me correspondant tout à fait ». La FSS est une échelle unidimensionnelle qui cible surtout les aspects physiques de la fatigue (Enoka et Duchateau, 2016). Le score total correspond à la moyenne des scores de l'échelle.

Le FSMC (questionnaire d'évaluation de la fatigue : activité motrice et cognitive ; Penner et al., 2009) est un questionnaire portant sur des problèmes de la vie courante directement liés à une forme intense de fatigue. Le questionnaire se compose de 20 affirmations pour lesquelles les sujets doivent remplir des échelles de Likert allant de « Ne s'applique pas du tout à ma situation » à « S'applique tout à fait à ma situation ». Il est divisé en deux échelles cognitive et motrice. Les scores sont calculés selon les pondérations proposées dans l'article.

Le KSS (Karolinska Sleepiness Scale ; Kaida et al., 2006) est une échelle permettant de mesurer le niveau subjectif de sommeil à un moment particulier pendant la journée. C'est donc une mesure du sommeil situationnel sensible aux fluctuations. Pour ce faire, le participant doit choisir son niveau de ressenti immédiat, allant de « très éveillé » (1 à 2) à « Très fatigué, gros efforts pour rester éveillé » (9). Le KSS est fortement corrélé avec l'électroencéphalogramme et des variables comportementales, ce qui le rend très valide.

La VAS (Visual Analog Scales) est une mesure tentant d'appréhender une caractéristique ou une attitude qui s'étale sur un continuum et est difficilement mesurable de façon directe. La VAS est fréquemment proposée sous forme d'une ligne horizontale de 10 cm de long, avec des descripteurs de chaque côté. Le sujet doit marquer sur la ligne le point qu'il pense être représentatif de son état. C'est une échelle analogique tout à fait subjective. Dans cette étude, il était demandé aux participants de situer leur motivation (motivé → démotivé), joie (euphorique → déprimé), fatigue (frais → épuisé), rapport aux autres (amical → irritable), stress (relax → stressé), angoisse (calme → angoissé), effort pour faire la tâche (peu d'effort → beaucoup d'effort).

2. Tâche de Stroop

La tâche de Stroop a été administrée de façon continue pendant environ 100 minutes. Lors de cette tâche, différents mots (« BLEU », « ROUGE », « JAUNE », « VERT ») ou le symbole « XXXX » apparaissent écrits à l'écran dans différentes couleurs (bleu, rouge, jaune ou verte). Il y a différents types d'items : facilitateurs (couleur d'encre similaire à la couleur écrite), interférents (la couleur d'encre n'est pas la même que la couleur écrite), neutres (le symbole « XXXX » imprimé dans une des quatre couleurs) et tampons⁷ (items semblables aux items neutres, mais ils ne sont pas pris en compte dans le résultat final). Les items sont présentés pendant une durée de maximum 2500 millisecondes et sont séparés par une croix de fixation pendant 500 millisecondes. Ces différents éléments sont illustrés sur la Figure 3. La consigne donnée aux sujets est de réagir à la couleur de l'encre des items le plus rapidement possible. La variable d'intérêt sera les temps de réaction (TR) (plus précisément le paramètre tau, voir plus bas) aux items réussis (Gilsoul et al., under review). En effet, il est montré, que lorsque des sujets continuent de réaliser une tâche exigeante pendant une période de temps prolongée, leur niveau de vigilance décline, correspondant à un échec de détection des cibles, des temps de réactions plus élevés, ou des temps de réaction plus variables. Cela porte le nom de « Time-on-Task (TOT) effect » (Borragan et al., 2016 ; Taya et al., 2018).



Figure 2: Tâche de Stroop

⁷ Ces items permettent d'annihiler les effets de priming négatifs induits par les items interférents.

C. Procédure générale

L'étude s'est déroulée en deux temps consistant en deux rendez-vous individuels, le premier s'effectuant au domicile du participant et le second systématiquement au Centre de Recherche du Cyclotron.

1. Rendez-vous 1

La première rencontre a servi à expliquer l'étude aux participants, signer le consentement éclairé, récolter les données démographiques et à présenter une série de questionnaires et échelles mesurant la fatigue cognitive et physique, les multimorbidités, la qualité de vie et le sommeil.

La lettre de présentation de l'étude est lue à nouveau avec le participant en insistant sur le fait qu'il lui est demandé de respecter quelques consignes avant leur venue au Cyclotron pour le deuxième rendez-vous : dormir raisonnablement la nuit avant, dormir et se lever à heures relativement fixes la semaine précédente, compléter un agenda du sommeil la semaine précédente, ne pas consommer de café, alcool ou autres substances psychoactives les vingt-quatre heures précédentes. Enfin, les participants sont prévenus qu'il leur faut prévoir trois heures trente de temps pour l'expérience lors du deuxième rendez-vous au Cyclotron.

Avant de passer aux questionnaires et échelles, les participants réalisent le test dichotomique de Farnsworth pour le daltonisme (Farnsworth, 1947) afin de s'assurer qu'ils sont capables de les distinguer. En effet, la tâche de Stroop qui sera administrée lors du deuxième rendez-vous nécessite de discriminer les couleurs verte, rouge, bleue et jaune.

En résumé, les questionnaires et échelles précédemment détaillés dans la section « Questionnaires » administrés aux participants lors du premier rendez-vous sont les suivants : fiche de données démographiques, fNART (Mackinnon & Mulligan, 2005), échelle de Charlson (Charlson, et al., 1987), échelle de multimorbidités, MEDAS (Schröder et al., 2010), questionnaire d'âges et d'état de santé subjectifs, CES-DS (Fuhrer & Rouillon, 1989), STAI (Spielberger & Sydeman, 1994), WHOQOL-BREF (Skevington et al., 2004), IQSP (Blais et al., 1997), questionnaire de somatisation (Vander Haegen & Etienne, 2015), BFS (Mairesse et al., 2017), EES (Johns, 1991), FSS (Krupp et al., 1989), FSMC (Penner et al., 2009). Les questionnaires sont présentés un à un dans l'ordre mentionné ci-dessus.

2. Rendez-vous 2

Le deuxième rendez-vous permet de prendre quelques mesures objectives de santé (pression artérielle, force de préhension), d'éveil objectif (PVT) ainsi que la réalisation de la tâche principale : la tâche de Stroop durant 100 minutes.

Lors de ce deuxième rendez-vous, les participants sont installés seuls dans une pièce disposant d'un bureau, d'une chaise et d'un ordinateur portable. Ils sont prévenus qu'ils sont observés grâce à une caméra afin de s'assurer que tout se passe bien. Une fois assis une dizaine de minutes sur la chaise, la pression artérielle est prise au bras gauche grâce à un tensiomètre électronique. Ensuite, leur force de préhension est mesurée au moyen d'un dynamomètre hydraulique (Saehan Digital hydraulic dynanomyter). Pour ce faire, il est demandé aux participants de presser le dynamomètre le plus fort possible. Cette opération est répétée trois fois à chaque main.

Une fois ces mesures prises, les tâches informatisées sont proposées. La tâche de PVT est expliquée aux participants et ils réalisent un entraînement afin de s'assurer de la compréhension de la consigne. Cette tâche est couplée avec le dispositif Phasya permettant de mesurer la dilatation pupillaire. Ils doivent donc porter des lunettes particulières pendant la réalisation de la PVT (cinq minutes) pour laquelle ils sont laissés seuls dans la pièce. Une fois la tâche terminée, l'expérimentateur était de retour dans la salle pour expliquer la tâche suivante.

Ensuite, il leur est demandé de réaliser une tâche de Stroop informatisée pendant une heure quarante. Lors de cette tâche, les sujets doivent donner la couleur de l'encre, en s'empêchant de lire le mot écrit, en appuyant sur le clavier sur quatre touches prédéterminées. Il y a trois types d'items dans cette tâche : facilitateurs, interférents et neutres. La variable dépendante est le temps de réaction (plus précisément, le paramètre tau) aux items réussis à la tâche pour les trois types d'items. Cette étude permettra d'appréhender la fatigue via une observation de l'évolution des temps de réaction aux items réussis après une période de temps prolongée (DeLuca, 2005). Les consignes sont données aux participants et puis un essai leur est proposé pour vérifier leur compréhension.

Enfin, des échelles de fatigue subjective, la KSS (Karolinska Sleepiness Scale ;Kaida, Takahashi, Akerstedt, Nakata, Otsuka, Haratani,& Fukasawa, 2006) et les VAS (Visual Analog Scales) sont administrées avant et après la tâche de Stroop.

Cette étude a reçu l'approbation du comité éthique de la faculté de Psychologie, Logopédie et des Sciences de l'éducation de l'Université de Liège.

D. Variables démographiques

Ce mémoire s'intégrant dans un projet plus important sur la fatigue cognitive dirigé par Jessica Gilsoul, beaucoup de données ont été récoltées. À terme, la majorité des variables seront prises comme régresseurs. Toutefois, le nombre de participants (71) testés pour ce mémoire ne permet pas de les analyser toutes. En comptant dix participants par variables (Field et al., 2012), nous pouvions en traiter sept. Pour ce travail, nous avons donc décidé de nous focaliser sur les variables subjectives : santé subjective (comorbidités), éveil subjectif, dépression, âge subjectif, fatigue cognitive et fatigue physique subjectives. La variable bloc étant le premier régresseur d'intérêt (effet Time-on-Task), nous avons donc utilisé sept variables explicatives.

Les variables non utilisées dans les statistiques d'intérêt ont tout de même été mesurées. Elles permettent alors de mieux décrire l'échantillon et sont présentées dans les tableaux qui suivent (Tableau 2, Tableau 3 et Tableau 4).

Tableau 2. Facteurs de santé objective

| Variable | Moyenne | Ecart-type | Minimum | Maximum |
|---|---------|------------|---------|---------|
| Indice de masse corporelle (IMC) | 28.96 | 5.74 | 19.2 | 44.64 |
| Tension systolique⁸ | 135.63 | 17.53 | 101 | 191 |
| Pulse pressure⁹ | 47.54 | 10.67 | 26 | 76 |
| Fréquence cardiaque | 72.07 | 11.80 | 48 | 105 |
| Force de préhension main gauche | 35.37 | 11.76 | 17.57 | 57.37 |
| Force de préhension main droite | 35.38 | 11.41 | 16.63 | 60.53 |

Tableau 3. Facteurs de satisfaction de vie

| Variable | Moyenne | Ecart-type | Minimum | Maximum |
|-------------------------|---------|------------|---------|---------|
| STAI B | 39.03 | 9.30 | 22 | 69 |
| Santé subjective | 7.38 | 1.28 | 3 | 10 |
| WHOQOL | 7.66 | 1.34 | 3 | 10 |

Tableau 4. Facteurs de sommeil, fatigue et éveil objectif

| Variable | Moyenne | Ecart-type | Minimum | Maximum |
|---|---------|------------|---------|---------|
| PSQI | 8.51 | 4.08 | 1 | 16 |
| EES | 9.03 | 4.39 | 1 | 20 |
| FSS | 3.66 | 4.64 | 1 | 39 |
| PVT (temps de réaction moyen) | 317.10 | 28.93 | 269.57 | 407.14 |
| PVT (écart-type des temps de réaction) | 96.06 | 97.34 | 20.34 | 570.17 |

⁸ Pression artérielle mesurée lors de la contraction du cœur.

⁹ Différence de pression entre la pression systolique et la pression diastolique.

E. Statistiques

1. Sentiments subjectifs : échelles KSS et VAS

Nous avons comparé le score obtenu pour la KSS¹⁰ au début de la tâche et à la fin de la tâche afin de voir s'il y a une différence entre les scores, c'est-à-dire s'il y a une différence entre le niveau d'éveil exprimé avant le début de la tâche et après le début de la tâche. Cela a également été réalisé pour les VAS motivation¹¹, la VAS effort¹² et la VAS fatigue¹³. Les données étant pairees, nous avons préalablement réalisé le test de Shapiro-Wilk pour tester la normalité des scores de différences entre les scores des échelles après la tâche versus avant la tâche. Si la normalité était respectée, nous avons ensuite utilisé le test-t de Student pour échantillons pairees pour chaque échelle. Par contre, si la normalité des scores de différence était violée, nous avons utilisé le test non paramétrique de Wilcoxon.

2. Statistiques générales : précision et temps de réaction sur la tâche entière

Pour chaque sujet, le nombre de pourcentages et de réponses correctes, incorrectes et de non-réponses a été calculé pour l'entièreté de la tâche et pour chaque type d'item (facilitateurs, interférents, neutres). Les temps de réaction moyen seront également calculés pour l'entièreté de la tâche pour chaque type d'item.

Si le nombre de réponses correctes par type d'items dans chaque bloc était inférieur à 100, le participant était exclu. En effet, en-dessous de ce nombre, l'algorithme utilisé pour extraire les données risque de manquer de convergence (Heathcote et al., 1991).

¹⁰ Il s'agit pour le participant de sélectionner un chiffre sur une échelle de Likert correspondant à son niveau d'éveil (1=très éveillé ; 9=très fatigué, gros effort pour rester éveillé).

¹¹ Il s'agit pour le participant de positionner le curseur en fonction de sa motivation (à gauche : motivé ; à droite, démotivé).

¹² Il s'agit pour le participant de positionner le curseur en fonction de l'effort fourni jusqu'à présent (à gauche : peu d'effort ; à droite, beaucoup d'effort).

¹³ Il s'agit pour le participant de positionner le curseur en fonction de sa fatigue (à gauche : frais-fraîche ; à droite, épuisé).

Nous allons également réaliser une ANOVA à mesure répétée pour tester si les temps de réaction sont significativement différents selon les types d'items (facilitateurs, interférents, neutres). Le test de Mauchly pour la sphéricité sera réalisé afin de tester cette condition de sphéricité. Si la condition de sphéricité est respectée, nous utiliserons la valeur F et sa probabilité. Si ce n'est pas le cas, nous utiliserons alors la correction de Greenhouse Geisser et sa probabilité. Si l'égalité des moyennes n'est pas démontrée, nous réaliserons des tests post-hoc (Bonferroni) avec la correction ajustée pour déterminer quels sont les types d'items significativement différents en termes de temps de réaction.

3. Statistiques d'intérêt

L'installation de la fatigue a été objectivée par un ralentissement des temps de réaction (augmentation du paramètre tau) aux items réussis de la tâche de Stroop, et ce de façon séparée pour les trois conditions (facilitateurs, interférents et neutres). La tâche complète d'une durée de 100 minutes a été découpée en 4 blocs de 25 minutes afin de regarder l'évolution des temps de réaction dans chaque bloc à mesure du temps passé sur la tâche¹⁴. Pour chaque bloc, les données de chaque type d'item (facilitateurs, interférents, neutres) ont été analysées.

La variabilité des temps de réaction étant plus sensible aux changements relatifs au temps passé sur la tâche (Wang et al., 2014), c'est cette mesure qui a été prise en compte comme variable d'intérêt. En effet, les taux de précision (pourcentage de réponses correctes et d'erreurs du sujet) varient peu au cours de la tâche, comme nous avons pu le voir précédemment.

La distribution des temps de réaction des réponses correctes a donc été extraite pour les quatre blocs et pour chaque type d'item. Pour rappel, la plupart du temps, les distributions de temps de réaction ne suivent pas une loi normale, mais sont plutôt caractérisées par une asymétrie droite. Dès lors, la fonction ex-gaussienne est souvent plus représentative de la distribution des temps de réaction comparativement à la distribution normale. Ce faisant, l'ajustement de la fonction ex-gaussienne aux distributions des temps de réaction nous permettra d'obtenir les paramètres ex-gaussiens « mu et sigma » qui caractérisent la composante normale de la courbe, ainsi que le paramètre ex-gaussien « tau », qui caractérise la composante exponentielle (l'asymétrie droite ou les temps de réaction extrêmes) de la courbe. En accord avec la littérature (Wang et al., 2014), ce paramètre « tau », représentant les temps de réaction les plus longs des

¹⁴ Cette évolution porte le nom d'effet Time-on-Task.

participants, deviendra notre variable dépendante d'intérêt, car il s'agit d'un paramètre sensible à l'installation de la fatigue cognitive. Ce paramètre tau est calculé uniquement sur les items réussis.

Notre étude a exploré dans quelle mesure sept variables expliquent ce paramètre tau : bloc, santé subjective, âge subjectif, dépression, fatigue cognitive, fatigue physique, éveil subjectif. Voici le détail des calculs des différents scores permettant de rendre compte de ces variables :

- **Bloc.** Il est divisé en 4 modalités : 1 (0-25 minutes), 2 (25-50 minutes), 3 (50-75 minutes) et 4 (75-100 minutes). C'est cette variable bloc qui explique l'installation de la fatigue au cours du temps. Autrement dit, il s'agit donc de la fatigue due à la tâche de Stroop.
- **Santé subjective.** Pour créer cette variable, nous avons utilisé les scores obtenus au questionnaire de comorbidités : passé-invalidité ; passé-risque ; présent-invalidité ; présent-risque. Chaque score a été standardisé (en score Z) au moyen de la moyenne et de l'écart-type de l'échantillon. Ensuite, les quatre scores ont été standardisés pour donner un score composite (Keefe et al., 2004). Enfin, ce score composite a été lui-même standardisé au moyen de la moyenne et de l'écart-type de l'échantillon.
- **Âge subjectif.** Le score retenu correspond à la différence entre l'âge réel et l'âge que le participant estime avoir « dans sa tête ». Ce score a également été standardisé.
- **Dépression.** Le score total de la CES-DS a été retenu et transformé en score Z.
- **Fatigue cognitive.** Pour créer cette variable, nous avons également utilisé des scores composites (cf méthodologie du facteur « santé subjective ») à partir des scores obtenus à la BFS mentale et la FSMC cognitive.
- **Fatigue physique.** Pour créer cette variable, nous avons également utilisé des scores composites (cf méthodologie du facteur « santé subjective ») à partir des scores obtenus à la BFS physique et la FSMC physique.
- **Eveil subjectif.** Le score obtenu dans la KSS administrée avant l'administration de la tâche de Stroop a été retenu. Ensuite, ce score a également été standardisé.

La standardisation de tous les scores permet de diminuer la multicolinéarité entre les différentes variables prédictives d'un modèle multiniveau. C'est également intéressant lorsque les variables n'ont pas de score « 0 ». Enfin, cela permet au modèle d'être plus stable (Field et al., 2012).

Pour traiter ces données, nous avons réalisé des modèles mixtes (modèles multiniveaux) qui porteront sur le paramètre tau. Trois modèles différents comprenant chacun sept régresseurs (Blocs, Santé subjective, Âge subjectif, Dépression, Fatigue Cognitive, Fatigue physique, Eveil subjectif) ont été réalisés, la variable bloc étant répétée et imbriquée dans la variable participant. Ainsi, un modèle multiniveaux a concerné le paramètre tau des items facilitateurs, un autre le paramètre tau des items interférents et un dernier pour le paramètre tau des items neutres. Pour chaque modèle, les conditions d'application relatives aux modèles mixtes ont été vérifiées : absence de multicolinéarité entre les régresseurs, homocédasticité des résidus et normalité des résidus.

Afin de faciliter la compréhension, la réalisation de ces analyses multiniveaux est découpée en plusieurs étapes. Ces étapes ont été réalisées pour chacun des trois modèles.

Premièrement, il s'agit d'évaluer la nécessité de recourir à un modèle multiniveau. Pour ce faire, nous avons vérifié que l'intercept varie en fonction des contextes, c'est-à-dire, dans notre cas, en fonction des participants. Nous avons rentré l'intercept comme seul explicateur du modèle en effet fixe¹⁵ dans le premier modèle, et en effet aléatoire¹⁶ dans le deuxième modèle. Ces deux modèles ont ensuite été comparés grâce à un test de maximum de vraisemblance¹⁷. Si le modèle avec intercept aléatoire s'avère avoir un meilleur fit aux données, cela signifie que l'intercept varie bel et bien en fonction du contexte (la variable participant), ce qui justifie le recours à un tel modèle multiniveau. Ensuite, si le modèle aléatoire s'avérait meilleur que le modèle fixe, nous avons calculé le pourcentage de variance expliquée (ICC) du paramètre tau par le participant.

Deuxièmement, il s'agit de tester s'il y a une relation générale entre le paramètre tau et le bloc, c'est-à-dire s'il y a pattern général d'augmentation ou de diminution par exemple. Pour ce faire, nous avons introduit le bloc en effet fixe (en plus de l'intercept). Cette étape comprend elle-même deux sous-étapes. Tout d'abord, nous avons testé la relation linéaire entre le bloc a et le paramètre tau afin de voir si son apport est significatif ou non. Ensuite, nous avons testé la relation quadratique entre le bloc et le paramètre tau pour voir si elle est significative ou non. Dans cette étape, nous nous situons dans le cadre d'un modèle multiniveau particulier : l'analyse de courbe de croissance. Ce cas particulier est plus adapté aux modèles comprenant

¹⁵ Intercept fixe : même intercept pour tous les participants.

¹⁶ Intercept aléatoire : intercept différent en fonction des participants.

¹⁷ Ce test de maximum de vraisemblance sera à chaque fois utilisé pour comparer l'amélioration d'un modèle par rapport à un autre.

une mesure répétée dans le temps car il permet de rendre compte de la forme de l'évolution de la variable dépendante dans le temps, ce que ne permet pas un modèle multiniveau classique.

Dans le cas d'une relation linéaire ou quadratique significative entre le bloc et tau, un test post-hoc de Tukey a été réalisé afin de tester entre quels blocs les différences sont significatives.

Troisièmement, nous avons déterminé si la relation fixe trouvée à l'étape deux (linéaire, quadratique) est constante parmi tous les participants ou si elle varie en fonction de ces derniers. Pour ce faire, la variable bloc a été entrée comme paramètre aléatoire. Ensuite, l'amélioration du modèle suite à l'ajout de ce paramètre aléatoire sera déterminée à l'aide du test de maximum de vraisemblance.

Quatrièmement, nous avons ajouté nos régresseurs subjectifs¹⁸ un à un et nous avons à chaque fois comparé les nouveaux modèles avec le meilleur modèle précédent. Autrement dit, il s'agit de tester si ces différents facteurs peuvent expliquer la variabilité des valeurs du paramètre. À nouveau, les comparaisons ont été réalisées au moyen du test de maximum de vraisemblance. Les variables ont été rentrées une par une dans cet ordre : fatigue cognitive, fatigue physique, dépression, éveil subjectif, santé subjective, âge subjectif.

Cinquièmement, nous avons ajouté l'interaction entre chaque régresseur et le bloc un à un et nous avons à chaque fois comparé les nouveaux modèles avec le meilleur modèle précédent. Autrement dit, nous avons testé si nos régresseurs influencent la variation du paramètre tau au fil de la tâche (bloc). À nouveau, les comparaisons ont été réalisées au moyen du test du maximum de vraisemblance. Les interactions ont été rentrées selon l'ordre de l'étape précédente.

Pour les étapes quatre et cinq, nous avons obtenu les effets fixes de type III afin de vérifier que les régresseurs apportent, ou non, une explication significative au modèle. Dans le cas d'un apport significatif, le pourcentage de variance explicative (R^2) a été calculé.

¹⁸ Bloc, fatigue cognitive, fatigue physique, dépression, santé subjective, éveil subjectif, âge subjectif.

III. RESULTS

A. Sentiments subjectifs : Echelle KSS et VAS

1. KSS : avant et après la tâche de Stroop

Le test de Shapiro-Wilk nous a permis de voir que la condition de normalité est violée ($W=0.96$; $p=0.04$), nous avons donc utilisé le test de Wilcoxon pour échantillons pairés pour analyser les données. Le test de Wilcoxon a indiqué une différence significative entre les deux échelles ($T=114.5$; $p<0.001$). La moyenne des scores à la KSS réalisée avant la tâche de Stroop est de 4.24 et la moyenne des scores à la KSS réalisées après la tâche de Stroop est de 6.33. Les scores à la KSS réalisée après la tâche de Stroop sont donc significativement plus élevés que les scores obtenus à la KSS réalisée avant la tâche de Stroop.

2. VAS Fatigue : avant et après la tâche de Stroop

Le test de Shapiro Wilk nous a permis de voir que la condition de normalité est respectée ($W=0.98$; $p=0.32$), nous avons donc utilisé le test t de Student pour échantillons pairés afin d'analyser les données. Ce test a indiqué une différence significative entre les deux échelles ($t(69)=-5.08$; $p<0.01$). La moyenne des scores à la VAS Fatigue avant la tâche est de -1.09 et la moyenne des scores après la tâche est de 0.14. Les scores à la VAS Fatigue sont donc plus élevés après la réalisation de la tâche qu'avant, signifiant un niveau de fatigue subjective plus élevé après la tâche qu'avant celle-ci.

3. VAS Motivation : avant et après la tâche de Stroop

Le test de Shapiro Wilk nous a permis de voir que la condition de normalité est violée ($W=0.94$; $p<0.01$), nous avons donc utilisé le test de Wilcoxon pour échantillons pairés afin d'analyser les données. Ce test a indiqué une différence significative entre les deux échelles ($T=205$; $p<0.01$). La moyenne des scores avant la tâche est de -3 et la moyenne des scores après la tâche de Stroop est de -1.54. Les scores sont donc significativement plus élevés après la tâche qu'avant la réalisation de celle-ci, signifiant un niveau plus élevé de démotivation après qu'avant la tâche.

4. VAS Effort : avant et après la tâche de Stroop

Le test de Shapiro Wilk nous a permis de voir que la condition de normalité est respectée ($W=0.99$; $p=0.69$), nous utilisons donc le test t de Student pour échantillons pairés pour analyser les données. Ce test a indiqué une différence significative entre les deux échelles ($t(69)=-9.13$; $p<0.01$). La moyenne des scores avant la tâche est de -2.51 et la moyenne des scores après la tâche de Stroop est de 0.1. Les scores sont donc significativement plus élevés après la tâche qu'avant la réalisation de celle-ci, signifiant un niveau d'effort fourni plus élevé après qu'avant la tâche.

B. Statistiques générales sur la tâche entière

Les moyennes et écart-types du nombre de réponses correctes ont été calculés pour chaque type d'items pour l'entièreté de la tâche. Cela a également été réalisé pour le pourcentage de réponses correctes, le pourcentage de réponses incorrectes, le pourcentage de non-réponses et les temps de réaction. Ces résultats sont repris dans les tableaux suivants : Tableau 5, Tableau 6, Tableau 7, Tableau 8, Tableau 9.

Tableau 5. Nombre de réponses correctes sur la tâche entière : moyennes et écart-types

| | MOYENNE | ECART-TYPE |
|----------------------|----------------|-------------------|
| Facilitateurs | 483.7 | 16.71 |
| Interférents | 475.42 | 20.07 |
| Neutres | 471.39 | 17.10 |

Tableau 6. Pourcentage de réponses correctes sur la tâche entière: moyennes et écart-types

| | MOYENNE | ECART-TYPE |
|----------------------|----------------|-------------------|
| Facilitateurs | 97.95 | 3.37 |
| Interférents | 96.20 | 4.05 |
| Neutres | 97.67 | 3.54 |

Tableau 7. Pourcentage de réponses incorrectes sur la tâche entière: moyennes et écart-types

| | MOYENNE | ECART-TYPE |
|----------------------|----------------|-------------------|
| Facilitateurs | 1.10 | 0.96 |
| Interférents | 2.28 | 1.56 |
| Neutres | 1.39 | 1.01 |

Tableau 8. Pourcentages de non réponses sur la tâche entière : moyennes et écart-types

| | MOYENNE | ECART-TYPE |
|----------------------|---------|------------|
| Facilitateurs | 0.48 | 1 |
| Interférents | 1.06 | 1.84 |
| Neutres | 0.46 | 0.95 |

Tableau 9. Temps de réaction aux items répondus correctement pour la tâche entière : moyennes et écart-types

| | MOYENNE | ECART-TYPE |
|----------------------|---------|------------|
| Facilitateurs | 865.35 | 1.41 |
| Interférents | 1057.58 | 179.27 |
| Neutres | 891.12 | 142.2 |

Une ANOVA à mesures répétées a été réalisée sur les temps de réaction pour chaque type d'items. Le test de Mauchly pour la sphéricité a indiqué que celle-ci n'est pas respectée ($W=0.47$, $p<0.01$). Nous avons donc utilisé la correction de Greenhouse-Geisser pour analyser les données. Cela met en évidence un effet de l'item sur les temps de réaction ($F(2,140)=357.457$, $p<0.01$). Le test post-hoc de Bonferroni met en évidence une différence significative des moyennes pour les trois types d'items entre eux : facilitateurs vs interférents ($p<0.01$), facilitateurs vs neutres ($p<0.01$) et interférents vs neutres ($p<0.01$). Grâce à l'observation des moyennes reprises dans le Tableau 9, nous pouvons voir que les temps de réaction sont plus faibles pour les items facilitateurs que pour les items neutres et les items interférents et que les temps de réaction sont plus élevés pour les items interférents que pour les items neutres.

Enfin, le Tableau 10 est un tableau récapitulatif des scores obtenus aux différents tests ayant permis de créer les régresseurs utilisés dans les modèles multiniveaux.

Tableau 10. Moyenne, écart-type, minimum et maximum des scores obtenus aux questionnaires permettant la création des régresseurs

| Variable | Moyenne | Ecart-type | Minimum | Maximum |
|--|---------|------------|---------|---------|
| Fatigue cognitive | | | | |
| BFS mentale | 3.13 | 2.20 | 0 | 9 |
| FSMC cognitive | 23.10 | 8.18 | 10 | 41 |
| Fatigue physique | | | | |
| BFS mentale | 2.80 | 2.11 | 0 | 11 |
| FSMC physique | 23.70 | 8.37 | 10 | 45 |
| Dépression : CES-DS | 11.69 | 7.79 | 0 | 41 |
| Eveil subjectif : KSS (avant) | 4.24 | 1.85 | 1 | 9 |
| Santé subjective | | | | |
| Risque passé | 4.99 | 4.64 | 0 | 21 |
| Invalidité passée | 11.80 | 9.24 | 0 | 36 |
| Risque présent | 2.39 | 2.53 | 0 | 11 |
| Invalidité présente | 8.14 | 6.68 | 0 | 33 |
| Âge subjectif : âge réel -âge perçu | 11.59 | 8.66 | 0 | 38 |

C. Statistiques d'intérêts

Les étapes suivies seront exactement les mêmes que lors de la description de ces statistiques dans la méthodologie.

1. Explication du paramètre tau pour les items facilitateurs

Premièrement, le modèle permettant à l'intercept de varier aléatoirement à travers la variable contextuelle « participant » apporte significativement plus d'explication aux données, autrement dit un meilleur fit, que le modèle avec intercept fixe ($\chi^2(1)=122.22$, $p<0.01$). Le paramètre tau varie donc significativement en fonction du participant. Ce résultat justifie l'utilisation d'un modèle multiniveau (Field et al., 2012). L'ICC¹⁹ est de 0.60. L'intercept, c'est-à-dire le participant, explique donc 60% du paramètre tau.

Deuxièmement, la relation linéaire entre la variable bloc (entrée en effet fixe) et le paramètre tau n'est pas significative ($b=4.185$; $t(212)=0.939$, $p=0.35$). De plus, il n'y a pas d'amélioration significative du modèle quand on ajoute le bloc en effet avec une relation linéaire ($\chi^2(1)=-17729.38$, $p=0.35$). Par contre, l'ajout d'une relation quadratique entre le bloc et le paramètre tau améliore le modèle ($\chi^2(1)=-1725.10$, $p<0.01$). De plus, cette relation quadratique est significative entre le bloc et le paramètre tau ($b=-14.39$; $t(211)=2.94$, $p<0.01$). La variable bloc explique 5% du paramètre tau. Le test post-hoc de Tukey a mis en évidence un effet significatif entre le bloc 1 et le bloc 2 ($Z=3.29$, $9<0.01$) et entre le bloc 4 et le bloc 2 ($Z=3.47$, $p<0.01$).

Troisièmement, nous avons observé une amélioration significative du modèle après avoir rentré la variable bloc comme étant aléatoire, autrement dit en permettant à la pente du bloc de varier aléatoirement à travers la variable contextuelle « participants » ($\chi^2(2)=37.27$, $p<0.01$). Il existe donc une variabilité significative dans l'effet du bloc sur le paramètre tau en fonction des différents participants.

¹⁹ ICC = pourcentage de variance expliquée.

Quatrièmement, aucun modèle créé avec l'ajout des six régresseurs n'améliore le modèle. Dans le Tableau 11, pour chaque modèle, la statistique χ^2 représente la différence entre l'adéquation (-2LogLikelihood) du modèle en question aux données et le modèle qui le précède directement. La p-valeur renseigne sur la significativité du changement de fit entre les deux modèles consécutifs.

Tableau 11. Amélioration des modèles par l'ajout des régresseurs (I=Intercept; B=bloc)

| Modèle ²⁰ | Degré de liberté | logLik ²¹ | χ^2 | p |
|---------------------------|------------------|----------------------|----------|------|
| I + B + Fatigue cognitive | 1 | -1706.32 | 0.28 | 0.60 |
| ... + Fatigue physique | 1 | -1706.07 | 0.50 | 0.48 |
| ... + Dépression | 1 | -1706.07 | 0.01 | 0.92 |
| ... + Eveil subjectif | 1 | -1705.89 | 0.35 | 0.56 |
| ... + Santé subjective | 1 | -1705.93 | 0.53 | 0.47 |
| ... + Age subjectif | 1 | -1705.30 | 0.65 | 0.42 |

Cinquièmement, aucun modèle créé avec l'ajout des interactions entre chacun des six régresseurs fixes et le bloc n'améliore le modèle. De la même façon qu'à l'étape précédente, le Tableau 12 donne pour chaque modèle la statistique χ^2 représentant la différence entre l'adéquation du modèle en question et le modèle qui le précède directement ainsi que la p-valeur associée.

Tableau 12. Amélioration des modèles par l'ajout des régresseurs en interaction avec le bloc (I=Intercept; B=Bloc)

| Modèle ²² | Degré de liberté | logLik | χ^2 | p |
|-------------------------------|------------------|----------|----------|------|
| I + B + B x Fatigue cognitive | 1 | -1706.17 | 0.58 | 0.45 |
| ...+ B x Fatigue physique | 1 | -1705.67 | 0.01 | 0.32 |
| ... + B x Dépression | 1 | -1705.60 | 0.13 | 0.72 |
| ... + B x Eveil subjectif | 1 | -1705.52 | 0.16 | 0.69 |
| ... + B x Santé subjective | 1 | -1705.52 | 0.01 | 0.95 |
| ... + B x Age subjectif | 1 | -1705.13 | 0.77 | 0.38 |

²⁰ Chaque modèle est comparé au précédent. Le premier modèle est comparé au meilleur modèle obtenu jusqu'ici : Intercept aléatoire + bloc aléatoire avec relation quadratique. La variable indiquée est à chaque fois ajoutée au modèle précédent.

²¹ Correspond à la méthode de maximum de vraisemblance.

²² Chaque modèle est comparé au précédent. Le premier modèle est comparé au meilleur modèle obtenu jusqu'ici : Intercept aléatoire + bloc aléatoire avec relation quadratique. L'interaction indiquée est à chaque fois ajoutée au modèle précédent.

Sixièmement, les effets fixes de type III ne sont pas significatifs, sauf en ce qui concerne l'intercept et le bloc en relation quadratique. Le Tableau 13 reprend les valeurs des effets fixes des régresseurs ajoutés isolément. Le Tableau 14 reprend les valeurs des effets fixes des régresseurs ajoutés en interaction avec le bloc.

Tableau 13. Valeurs des effets fixes de type III des régresseurs ajoutés seuls

| Variables | Degré de liberté du numérateur | Degré de liberté du dénominateur | F | p |
|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------|-------|
| Intercept | 1 | 211 | 117.03 | <0.01 |
| Bloc en relation quadratique | 1 | 211 | 12.62 | <0.01 |
| Fatigue cognitive | 1 | 64 | 0.46 | 0.50 |
| Fatigue physique | 1 | 64 | 0.17 | 0.68 |
| Dépression | 1 | 64 | 0.004 | 0.95 |
| Eveil subjectif | 1 | 64 | 0.27 | 0.61 |
| Santé subjective | 1 | 64 | 0.16 | 0.69 |
| Âge subjectif | 1 | 64 | 0.65 | 0.42 |

Tableau 14. Valeurs des effets fixes de type III des régresseurs ajoutés en interaction avec le bloc

| Variables | Degré de liberté du numérateur | Degré de liberté du dénominateur | F | p |
|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------|-------|
| Intercept | 1 | 205 | 116.60 | <0.01 |
| Bloc en relation quadratique | 1 | 205 | 12.62 | <0.01 |
| Bloc X Fatigue cognitive | 1 | 205 | 1.69 | 0.20 |
| Bloc X Fatigue physique | 1 | 205 | 0.62 | 0.43 |
| Bloc X Dépression | 1 | 205 | 0.38 | 0.54 |
| Bloc X Eveil subjectif | 1 | 205 | 0.08 | 0.77 |
| Bloc X Santé subjective | 1 | 205 | 0.14 | 0.71 |
| Bloc X Âge subjectif | 1 | 205 | 0.78 | 0.38 |

2. Explication du paramètre tau pour les items interférents

Premièrement, le modèle permettant à l'intercept de varier aléatoirement à travers la variable contextuelle « participant » apporte significativement plus d'explication aux données, autrement dit un meilleur fit, que le modèle avec intercept fixe ($\chi^2(1)=30.82$, $p<0.01$). Le paramètre tau varie donc significativement en fonction du participant. Ce résultat justifie l'utilisation d'un modèle multiniveau (Field et al., 2012). L'ICC²³ est de 0.30. L'intercept, c'est-à-dire le participant, explique donc 30% du paramètre tau.

Deuxièmement, la relation linéaire entre la variable bloc (entrée en effet fixe) et le paramètre tau n'est pas significative ($b=-12.913$; $t(212)=-1.82$, $p=0.07$). De plus, il n'y a pas d'amélioration significative du modèle quand on ajoute le bloc en effet avec une relation linéaire ($\chi^2(1)=3.32$, $p=0.07$). Par contre, l'ajout d'une relation quadratique entre le bloc et le paramètre tau améliore le modèle ($\chi^2(1)=9.95$, $p<0.01$). De plus, cette relation quadratique est significative entre le bloc et le paramètre tau ($b=24.59$; $t(211)=3.17$, $p<0.01$). La variable bloc explique 4% du paramètre tau. Pour terminer, le test post-hoc de Tukey met en évidence un effet significatif entre le bloc 1 et le bloc 2 ($Z=-4.28$, $p<0.01$) et entre le bloc 3 et le bloc 1 ($Z=-2.78$, $p=0.03$).

Troisièmement, nous avons observé une amélioration significative du modèle après avoir rentré la variable bloc comme étant aléatoire, autrement dit en permettant à la pente du bloc de varier aléatoirement à travers la variable contextuelle « participants » ($\chi^2(2)=11.93$, $p<0.01$). Il existe donc une variabilité significative dans l'effet du bloc sur le paramètre tau en fonction des différents participants.

Quatrièmement, aucun modèle créé avec l'ajout des six régresseurs n'améliore le modèle. Dans le Tableau 15, pour chaque modèle, la statistique χ^2 représente la différence entre l'adéquation (-2LogLikelihood) du modèle en question aux données et le modèle qui le précède directement. La p-valeur renseigne sur la significativité du changement de fit entre les deux modèles consécutifs.

²³ ICC = pourcentage de variance expliquée.

Tableau 15. Amélioration des modèles par l'ajout des régresseurs (I =Intercept; B =bloc)

| Modèle ²⁴ | Degré de liberté | logLik | χ^2 | p |
|----------------------------------|------------------|----------|----------|------|
| I + B + Fatigue cognitive | 1 | -1816.16 | 1.70 | 0.19 |
| ... + Fatigue physique | 1 | -1815.84 | 0.65 | 0.42 |
| ... + Dépression | 1 | -1815.84 | 0.0002 | 0.99 |
| ... + Eveil subjectif | 1 | -1815.57 | 0.53 | 0.47 |
| ... + Santé subjective | 1 | -1815.35 | 0.44 | 0.51 |
| ... + Âge subjectif | 1 | -1815.20 | 0.31 | 0.58 |

Cinquièmement, aucun modèle créé avec l'ajout des interactions entre chacun des six régresseurs fixes et le bloc n'améliore le modèle. De la même façon qu'à l'étape précédente, le Tableau 16 donne pour chaque modèle la statistique χ^2 représentant la différence entre l'adéquation du modèle en question et le modèle qui le précède directement ainsi que la p-valeur associée.

Tableau 16. Amélioration des modèles par l'ajout des régresseurs en interaction avec le bloc (I =Intercept; B =Bloc; x = interaction)

| Modèle ²⁵ | Degré de liberté | logLik | χ^2 | p |
|--------------------------------------|------------------|----------|----------|------|
| I + B + B x Fatigue cognitive | 1 | -1816.60 | 0.82 | 0.37 |
| ... + B x Fatigue physique | 1 | -1816.32 | 0.56 | 0.45 |
| ... + B x Dépression | 1 | -1816.12 | 0.39 | 0.53 |
| ... + B x Eveil subjectif | 1 | -1815.88 | 0.50 | 0.48 |
| ... + B x Santé subjective | 1 | -1815.86 | 0.03 | 0.87 |
| ... + B x Âge subjectif | 1 | -1815.69 | 0.34 | 0.56 |

Sixièmement, les effets fixes de type III ne sont pas significatifs, sauf en ce qui concerne l'intercept et le bloc en relation quadratique. Le Tableau 17 reprend les valeurs des effets fixes des régresseurs ajoutés isolément. Le Tableau 18 reprend les valeurs des effets fixes des régresseurs ajoutés en interaction avec le bloc.

²⁴ Chaque modèle est comparé au précédent. Le premier modèle est comparé au meilleur modèle obtenu jusqu'ici : Intercept aléatoire + bloc aléatoire avec relation quadratique. La variable indiquée est à chaque fois ajoutée au modèle précédent.

²⁵ Chaque modèle est comparé au précédent. Le premier modèle est comparé au meilleur modèle obtenu jusqu'ici : Intercept aléatoire + bloc aléatoire avec relation quadratique. L'interaction indiquée est à chaque fois ajoutée au modèle précédent.

Tableau 17. Valeurs des effets fixes de type III des régresseurs ajoutés seuls

| Variables | Degré de liberté du numérateur | Degré de liberté du dénominateur | F | p |
|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------|-------|
| Intercept | 1 | 211 | 101.26 | <0.01 |
| Bloc en relation quadratique | 1 | 211 | 13.53 | <0.01 |
| Fatigue cognitive | 1 | 64 | 2.29 | 0.13 |
| Fatigue physique | 1 | 64 | 0.69 | 0.41 |
| Dépression | 1 | 64 | 0.25 | 0.62 |
| Eveil subjectif | 1 | 64 | 0.39 | 0.54 |
| Santé subjective | 1 | 64 | 0.68 | 0.41 |
| Âge subjectif | 1 | 64 | 0.31 | 0.58 |

Tableau 18. Valeurs des effets fixes de type III des régresseurs ajoutés en interaction avec le bloc

| Variables | Degré de liberté du numérateur | Degré de liberté du dénominateur | F | p |
|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------|-------|
| Intercept | 1 | 205 | 100.24 | <0.01 |
| Bloc en relation quadratique | 1 | 205 | 13.53 | <0.01 |
| Bloc X Fatigue cognitive | 1 | 205 | 1.41 | 0.24 |
| Bloc X Fatigue physique | 1 | 205 | 0.14 | 0.71 |
| Bloc X Dépression | 1 | 205 | 0.60 | 0.44 |
| Bloc X Eveil subjectif | 1 | 205 | 0.40 | 0.53 |
| Bloc X Santé subjective | 1 | 205 | 0.002 | 0.96 |
| Bloc X Âge subjectif | 1 | 205 | 0.34 | 0.56 |

3. Explication du paramètre tau pour les items neutres

Premièrement, le modèle permettant à l'intercept de varier aléatoirement à travers la variable contextuelle « participant » apporte significativement plus d'explication aux données, autrement dit un meilleur fit, que le modèle avec intercept fixe ($\chi^2(1)=45.33$, $p<0.01$). Le paramètre tau varie donc significativement en fonction du participant. Ce résultat justifie l'utilisation d'un modèle multiniveau (Field et al., 2012). L'ICC²⁶ est de 0.37. L'intercept, c'est-à-dire le participant, explique donc 37% du paramètre tau.

Deuxièmement, la relation linéaire entre la variable bloc (entrée en effet fixe) et le paramètre tau n'est pas significative ($b=9.88$; $t(212)=1.75$, $p=0.08$). De plus, il n'y a pas d'amélioration significative du modèle quand on ajoute le bloc en effet avec une relation linéaire ($\chi^2(1)=3.07$, $p=0.08$). L'ajout d'une relation quadratique entre le bloc et le paramètre tau n'améliore pas le modèle ($\chi^2(1)=0.85$, $p=0.36$). De plus, cette relation quadratique n'est pas significative entre le bloc et le paramètre tau ($b=5.77$; $t(211)=0.92$, $p=0.36$). Il n'existe donc pas de tendance générale entre le paramètre tau et le bloc.

Troisièmement, nous avons observé une amélioration significative du modèle après avoir rentré la variable bloc comme étant aléatoire, autrement dit en permettant à la pente du bloc de varier aléatoirement à travers la variable contextuelle « participants » ($\chi^2(2)=7.74$, $p=0.02$). Il existe donc une variabilité significative dans l'effet du bloc sur le paramètre tau en fonction des différents participants.

Quatrièmement, aucun modèle créé avec l'ajout des six régresseurs n'améliore le modèle. Dans le Tableau 19, pour chaque modèle, la statistique χ^2 représente la différence entre l'adéquation (-2LogLikelihood) du modèle en question aux données et le modèle qui le précède directement. La p-valeur renseigne sur la significativité du changement de fit entre les deux modèles consécutifs.

²⁶ ICC = pourcentage de variance expliquée.

Tableau 19. Amélioration des modèles par l'ajout des régresseurs ($I=$ Intercept; $B=bloc$)

| Modèle ²⁷ | Degré de liberté | logLik | χ^2 | p |
|----------------------------------|------------------|----------|----------|------|
| I + B + Fatigue cognitive | 1 | -1766.36 | 0.41 | 0.52 |
| ... + Fatigue physique | 1 | -1766.17 | 0.37 | 0.54 |
| ... + Dépression | 1 | -1766.17 | 0.02 | 0.90 |
| ... + Eveil subjectif | 1 | -1765.22 | 1.89 | 0.17 |
| ... + Santé subjective | 1 | -1765.10 | 0.24 | 0.62 |
| ... + Âge subjectif | 1 | -1764.68 | 0.84 | 0.36 |

Cinquièmement, aucun modèle créé avec l'ajout des interactions entre chacun des six régresseurs fixes et le bloc n'améliore le modèle. De la même façon qu'à l'étape précédente, le Tableau 20 donne pour chaque modèle la statistique χ^2 représentant la différence entre l'adéquation du modèle en question et le modèle qui le précède directement ainsi que la p-valeur associée.

Tableau 20. Amélioration des modèles par l'ajout des régresseurs ($I=$ Intercept; $B=Bloc$; $x = interaction$)

| Modèle ²⁸ | Degré de liberté | logLik | χ^2 | p |
|--------------------------------------|------------------|----------|----------|------|
| I + B + B x Fatigue cognitive | 1 | -1766.56 | 0.002 | 0.97 |
| ... + B x Fatigue physique | 1 | -1766.50 | 0.12 | 0.72 |
| ... + B x Dépression | 1 | -1765.93 | 1.15 | 0.28 |
| ... + B x Eveil subjectif | 1 | -1765.40 | 1.05 | 0.30 |
| ... + B x Santé subjective | 1 | -1765.29 | 0.23 | 0.63 |
| ... + B x Âge subjectif | 1 | -764.70 | 1.18 | 0.28 |

Sixièmement, les effets fixes de type III ne sont pas significatifs, sauf en ce qui concerne l'intercept et le bloc en aléatoire. Le Tableau 21 reprend les valeurs des effets fixes des régresseurs ajoutés isolément. Le Tableau 22 reprend les valeurs des effets fixes des régresseurs ajoutés en interaction avec le bloc.

²⁷ Chaque modèle est comparé au précédent. Le premier modèle est comparé au meilleur modèle obtenu jusqu'ici : Intercept aléatoire + bloc aléatoire avec relation quadratique. Le facteur indiqué est à chaque fois ajouté au modèle précédent.

²⁸ Chaque modèle est comparé au précédent. Le premier modèle est comparé au meilleur modèle obtenu jusqu'ici : Intercept aléatoire + bloc aléatoire avec relation quadratique. L'interaction indiquée est à chaque fois ajoutée au modèle précédent.

Tableau 21. Valeurs des effets fixes de type III des régresseurs ajoutés seuls

| Variables | Degré de liberté du numérateur | Degré de liberté du dénominateur | F | p |
|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------|-------|
| Intercept | 1 | 212 | 122.12 | <0.01 |
| Bloc en relation linéaire | 1 | 212 | 2.76 | 0.10 |
| Fatigue cognitive | 1 | 64 | 0.74 | 0.39 |
| Fatigue physique | 1 | 64 | 0.23 | 0.64 |
| Dépression | 1 | 64 | 0.66 | 0.42 |
| Eveil subjectif | 1 | 64 | 1.52 | 0.22 |
| Santé subjective | 1 | 64 | 0.60 | 0.44 |
| Âge subjectif | 1 | 64 | 0.88 | 0.35 |

Tableau 22. Valeurs des effets fixes de type III des régresseurs ajoutés en interaction avec le bloc

| Variables | Degré de liberté du numérateur | Degré de liberté du dénominateur | F | p |
|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------|-------|
| Intercept | 1 | 206 | 118.63 | <0.01 |
| Bloc en relation linéaire | 1 | 206 | 2.84 | 0.09 |
| Bloc X Fatigue cognitive | 1 | 206 | 0.09 | 0.76 |
| Bloc X Fatigue physique | 1 | 206 | 0.05 | 0.81 |
| Bloc X Dépression | 1 | 206 | 1.50 | 0.22 |
| Bloc X Eveil subjectif | 1 | 206 | 0.83 | 0.36 |
| Bloc X Santé subjective | 1 | 206 | 0.007 | 0.94 |
| Bloc X Âge subjectif | 1 | 206 | 1.19 | 0.28 |

IV. DISCUSSION

Notre étude cherchait à découvrir les liens existant entre la fatigue cognitive mesurée objectivement et différents explicateurs subjectifs (fatigue cognitive, fatigue physique, éveil subjectif, âge subjectif, dépression, santé subjective). En plus de ces explicateurs, nous avons investigué l'effet du « bloc » permettant de rendre compte de l'évolution de la fatigue au cours du temps, c'est-à-dire au cours de la tâche de Stroop.

Pour réaliser cette étude, les participants ont répondu à un ensemble de questionnaires dont un questionnaire de comorbidités créé dans le cadre de l'étude, la BFS, la FSMC, la CES-DS, la KSS et une mesure permettant de déterminer l'âge subjectif. Quelques temps après, les participants se sont vus administrer une tâche de Stroop pendant une durée de 100 minutes. La fatigue cognitive a été objectivée au moyen des temps de réaction à cette tâche, plus précisément à l'aide du paramètre ex-Gaussien « tau ». Ensuite, nous avons réalisé des modèles multiniveaux afin de déterminer certains régresseurs permettant d'expliquer l'augmentation des temps de réaction longs observés lors de la tâche. En plus de ces analyses, d'autres ont testé l'installation de sentiments subjectifs lors de la tâche, ainsi que les différences observées au niveau des temps de réaction entre les différents types d'items présentés (facilitateurs, interférents, neutres) sur la tâche entière.

Nos hypothèses étaient les suivantes :

- Les régresseurs retenus dans cette étude vont permettre d'expliquer une partie des changements observés au niveau des temps de réaction au cours de la tâche.
- Les sentiments subjectifs relatifs à l'effort, la motivation, l'éveil et la motivation vont changer suite à la réalisation de la tâche de Stroop.

Différents éléments ont pu être retirés de cette étude, notamment au niveau des sentiments subjectifs, de la variabilité interindividuelle et de l'effet du temps.

A. Sentiments subjectifs

Selon nos hypothèses, l'administration de la tâche de Stroop devrait induire différents changements au niveau des sentiments subjectifs : une augmentation de la sensation de fatigue, une augmentation de l'effort, une diminution de la motivation et une diminution de l'éveil. Les résultats obtenus lors de cette étude vont effectivement dans ce sens.

Les scores significativement plus élevés à la VAS fatigue administrée après la tâche de Stroop par rapport à celle qui a été administrée avant signifient que la réalisation d'une tâche cognitive de longue durée a contribué à l'installation de la fatigue cognitive chez les participants : ceux-ci se sentent plus fatigués après l'administration de la tâche. Cela est effectivement retrouvé dans la littérature (Burke et al., 2018, Wang et al., 2014). L'induction de la fatigue grâce à cette tâche permet de valider la capacité de cette tâche de Stroop à induire de la fatigue au niveau subjectif.

Les scores significativement plus élevés à la KSS administrées après la tâche de Stroop par rapport à celle qui a été administrée avant la tâche signifient que la réalisation d'une tâche cognitive de longue durée a entraîné une diminution de l'éveil subjectif : les participants se sentent moins éveillés après avoir réalisé la tâche.

L'administration de la tâche de Stroop a également contribué à la diminution de la motivation chez les participants, comme l'attestent les scores significativement plus élevés à la VAS motivation en fin de tâche par rapport au début de la tâche.

L'observation de scores significativement plus élevés à la VAS effort administrée après la tâche de Stroop par rapport à celle qui a été administrée avant signifient que la réalisation d'une tâche cognitive prolongée a demandé aux participants de fournir un certain effort.

Ces différents résultats (diminution de l'éveil et de la motivation, augmentation de l'effort) sont fréquemment retrouvés dans la littérature comme symptômes majeurs de la fatigue cognitive (Boksem & Tops, 2008, Burke et al., 2018 ; Lal & Craig, 2001; Lorist et al., 2000; Lorist et al., 2009 ; Tanaka et al., 2015, Wang et al., 2014) ou plutôt des causes du sentiment de fatigue subjective (Burke et al., 2018 ; Enoka et Duchateau, 2016 ; Kluger et al., 2013).

Ce présent travail permet de confirmer qu'une tâche cognitive prolongée induit une augmentation du niveau de fatigue et d'effort ainsi qu'une diminution de motivation et d'éveil. Nous ne pouvons toujours pas préciser si la fatigue est une cause ou une conséquence de ces sentiments subjectifs, mais nous savons que ces variables évoluent ensemble. D'autres recherches seront nécessaires afin de déterminer la nature du lien qui unit la fatigue à ces différentes sensations.

B. Caractéristiques de la tâche de Stroop

Dans cette étude, nous avons mis en évidence un effet du type d'item sur les temps de réaction mesurés sur la tâche entière. Plus précisément, les items facilitateurs ont des temps de réaction plus faibles que les items interférents et les items neutres. Les items interférents, quant à eux, ont des temps de réponses plus élevés que les items neutres. Autrement dit, les temps de réaction sont de plus en plus élevés entre les items facilitateurs, neutres et interférents. C'est un pattern typiquement rencontré dans cette tâche de Stroop (Heathcote et al., 1991 ; MacLeod & MacDonald, 2000 ; Parsons & Barnett, 2018). En effet, la lecture étant un processus automatique, les personnes doivent l'inhiber lorsqu'elles se trouvent face à un item interférent pour pouvoir appuyer sur le bouton correspondant à la couleur de l'encre. Ce phénomène d'interférence diminue alors la vitesse de réaction des participants. De la même manière, il existe un système de facilitation pour les items facilitateurs. L'effet d'automatisation de la lecture permet au participant d'être plus rapide pour appuyer sur la touche correspondante. La réponse à ce type d'items est alors plus rapide qu'à un item neutre (MacLeod & MacDonald, 2000).

Cette étude met également en évidence de très faibles taux d'erreurs dans la réalisation de la tâche. Comme le suggèrent de Jong et al. (2018), la précision serait plutôt altérée par la fatigue cognitive uniquement chez les participants jeunes. En effet, les personnes middle-aged privilégient davantage la précision, au détriment de la vitesse. Ces résultats sont également retrouvés dans d'autres études (Burk et al., 2018, Wang et al., 2014). Ainsi, c'est sur la vitesse que nos analyses explicatives se sont portées, car elle varie au cours de la tâche, comme nous allons le voir.

C. **Modèles explicatifs de la fatigue**

Nous avons tenté de mettre en évidence un lien entre les temps de réaction extrêmes des participants et différents explicateurs de nature subjective (la fatigue cognitive, la fatigue physique, l'éveil subjectif, la dépression, l'âge subjectif, la santé subjective) ainsi que la variable bloc.

Les meilleurs modèles multiniveaux, réalisés sur les temps de réaction extrêmes des items facilitateurs et interférents, montrent des effets significatifs de l'intercept et de la variable bloc. Par contre, seul l'intercept est significativement lié aux temps de réaction extrêmes pour les items neutres.

1. **Intercept aléatoire : variabilité interindividuelle**

L'intercept rentré dans les modèles de façon aléatoire correspond en réalité au participant et donc à la variabilité interindividuelle. Ce facteur est significatif dans les trois modèles (items facilitateurs, interférents, neutres). Autrement dit, les temps de réaction varient en fonction du participant. Cela n'est pas étonnant puisque la plupart des variables, souvent évoquées dans la littérature, sont intrinsèquement liées au participant. Par exemple, c'est le cas de la motivation (Boksem et al., 2016 ; Herlambang et al., 2019 ; Hopstaken et al., 2015 ; Lorist et al., 2009 ; Wylie et al., 2017), des fonctions exécutives (Hockey, 2011 ; Holtzer et al., 2011 ; Möll et al., 2014), des aspects sensoriels (Evans et al., 2016), les expériences précédentes (Evans et al., 2016) et bien d'autres facteurs. Les temps de réaction extrêmes observés lors de la tâche cognitive de longue durée sont donc différents en fonction de l'individu.

2. Le bloc : effet du temps

La significativité de cette variable bloc, pour les items facilitateurs et interférents, montre que les variations des temps de réaction est en partie due au temps passé à la tâche pour ces deux types d'items. C'est le principe de l'effet « Time-on-Task » (Borragan, 2016 ; Burke et al., 2018). Cet allongement des temps de réaction correspond à l'apparition de la fatigue cognitive (Burke et al., 2016 ; Wang et al., 2014). Les temps de réaction variant au sein de la même personne suite aux effets du temps démontre une certaine variabilité intra-individuelle par rapport à l'installation de la fatigue cognitive. En effet, Wang et al. (2014) ont déjà montré, avec un protocole similaire, une augmentation de la variabilité intra-individuelle avec le temps. Dans leur protocole, ils ont mesuré cette variabilité intra-individuelle au moyen du coefficient de variation et ont également mis en évidence que cette variabilité était due à une augmentation du paramètre tau avec le temps. Ainsi, en accord avec Wang et al. (2014), l'augmentation de la variabilité intra-individuelle avec l'installation de la fatigue est fréquemment retrouvée dans la littérature (Heathcote et al., 1991 ; Wang et al., 2014) et est très probablement due à une augmentation des temps de réaction extrêmes des participants.

Le lien entre cette variabilité intra-individuelle et la fatigue a été principalement interprété de deux façons. Premièrement, la variabilité intra-individuelle et la fatigue cognitive sont toutes les deux influencées par des changements au niveau des structures préfrontales (Boksem & Tops, 2008 ; Wang et al., 2014). Deuxièmement, les deux phénomènes sont associés à des altérations au niveau, notamment, de la dopamine (Wang et al., 2014).

D'autres analyses menées dans cette étude ont précisé une variabilité significative de l'effet du bloc sur les temps de réaction en fonction du participant. En fait, l'effet du temps a un effet différent selon le participant. Ce résultat n'est pas étonnant au vu de la significativité de l'intercept rentré en aléatoire. En effet, lorsqu'un intercept est aléatoire, la pente du régresseur l'est généralement aussi (Field et al., 2012).

Au niveau de la variation des temps de réaction en fonction du bloc, nous pensions que les temps de réaction varieraient de façon linéaire avec le bloc et que le paramètre tau des items du bloc 3 et 4 serait plus élevé que le paramètre tau des items dans le bloc 1 et 2. Notre hypothèse n'est pas tout à fait rencontrée car la relation trouvée dans les modèles pour les items facilitateurs et neutres est quadratique.

Pour les items facilitateurs, nous avons mis en évidence une diminution de la quantité des temps de réaction extrêmes entre le bloc 1 et le bloc 2 et une augmentation de la quantité des temps de réaction extrêmes entre le bloc 2 et le bloc 4. La diminution de la fréquence des temps de réaction longs dans la première moitié de la tâche a déjà été montrée dans d'autres études (Heathchote et al., 1991) et suggèrent un effet d'habituation ou d'apprentissage. En effet, il a été montré qu'un entraînement à une tâche de Stroop pouvait diminuer le nombre d'erreur et augmenter la vitesse de réponse (MacLeod & MacDonald, 2018). Cette période du début de tâche pourrait correspondre à un entraînement. L'augmentation de la fréquence des temps de réaction longs après cette phase d'habituation suggère l'installation de la fatigue cognitive à mesure du temps passé sur la tâche (effet Time-on-Task). Ce déclin dans la vitesse lors d'une tâche prolongée de longue durée est fréquemment retrouvée dans la littérature, que ce soit chez les adultes jeunes, middle-aged ou âgés (Boksem et al., 2006 ; De Jong et al., 2018, Lorist et al., 2009, Wang et al., 2014).

Pour les items interférents, les différences de quantité des temps de réaction extrêmes se retrouvent à nouveau entre le bloc 1 et le bloc 2, suggérant un effet d'habituation ou d'apprentissage. Par contre, le nombre de temps de réaction extrêmes est significativement différent entre le bloc 3 et le bloc 1. Autrement dit, la fatigue observée pour les items interférents semble apparaître de façon plus précoce que pour les items facilitateurs. Ce résultat est cohérent avec la littérature. En effet, les fonctions exécutives sont davantage impactées par la fatigue cognitive. Or, l'inhibition fait partie des fonctions exécutives (Ishii et al., 2014). Il est donc logique de constater que les items interférents (requérant des processus d'inhibition) soient impactés plus rapidement par la fatigue cognitive.

Pour les items facilitateurs et interférents, nous pouvons donc constater que l'apparition de la fatigue se déroule après une phase d'habituation et est variable selon les individus. Cette fatigue cognitive est également retrouvée à un niveau davantage subjectif (fatigue perçue, motivation, effort, éveil), comme nous l'avons vu précédemment.

En revanche, ce pattern (période d'habituation suivie d'une période de fatigue) n'est pas retrouvé pour les items neutres. Dans ce modèle, le bloc n'est plus significatif, il n'y a pas de patterns général entre le bloc et les temps de réaction extrêmes. Autrement dit, le temps passé sur la tâche n'influence pas de façon significative les temps de réaction longs aux items neutres. Ces résultats, forts différents de ceux que l'on retrouve pour les items facilitateurs et interférents, pourraient s'expliquer par la nature de l'item. En effet, les items neutres correspondaient à une série de croix d'une certaine couleur alors que les items facilitateurs et interférents correspondent à des mots écrits dans une certaine couleur. Nous pouvons supposer que le traitement des croix est plus simple que le traitement des mots, il est moins coûteux d'un point de vue cognitif. La fatigue atteignant d'abord les fonctions cognitives plus complexes (Ishii et al., 2014), elle se marquerait moins, voire pas du tout, sur les items neutres. Si la tâche avait duré plus longtemps, peut-être que la fatigue se marquerait davantage vers la fin et qu'un pattern général sortirait à ce niveau.

Si la fatigue est bien objectivée au travers de l'analyse des temps de réaction aux items facilitateurs et interférents, ce n'est donc pas le cas au niveau des items neutres qui se comportent différemment.

3. Régresseurs subjectifs

Notre hypothèse liait six régresseurs subjectifs (fatigue cognitive, fatigue physique, dépression, âge subjectif, santé subjective et éveil subjectif) à la fatigue objectivée par une augmentation des temps de réaction extrêmes. Toutefois, aucune relation significative n'a été mise en évidence dans notre étude entre ces régresseurs et les modifications des temps de réaction au cours de la tâche, ni même simplement avec les temps de réaction. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ces résultats.

Premièrement, il se pourrait que ces facteurs spécifiques n'influencent pas la fatigue cognitive. Si nous considérons d'abord les questionnaires concernant la fatigue, il a été montré dans de nombreuses études que ces questionnaires ne corrélaien pas toujours avec une mesure davantage objective de la fatigue (Ashman et al., 2008 ; Boksem & Tops, 2008 ; Kohl, Wylie, Genova, Hillary, & DeLuca, 2009 ; Möller et al., 2014). En fait, la fatigue mentale observée au cours d'une tâche prolongée est difficile à saisir au moyen de questions relevant d'expériences déjà vécues ou imaginées (Burke et al., 2018). Burke et al. (2018) suggèrent plutôt de proposer des questions plus détaillées et plus spécifiques qui prendraient en compte d'autres facteurs tels que la motivation ou la préférence. D'autres part, si les auteurs distinguent souvent deux composants (cognitive et physique) au sein de la fatigue (Boksem & Tops ; 2008 ; Chaudhuri & Behan ; Lal et Craig, 2001 ; Wang et al., 2014 ; Wylie et al., 2017), ce n'est pas le cas de tous qui préfèrent la voir comme un concept unique non « divisible » (Aaronson et al, 1999 ; Enoka & Duchateau, 2016 ; Evans et al., 2016; Philips, 2015). En divisant le facteur en une fatigue cognitive et une fatigue physique, nous perdons peut-être une certaine part d'explication des temps de réaction.

Au niveau de la dépression, tous les auteurs ne s'accordent pas sur l'existence d'un lien entre la dépression et la fatigue (Janardhan & Bakshi, 2002, Möller et al., 2014). Il se pourrait que la dépression soit davantage liée à des mesures subjectives de la fatigue et non à des mesures objectives (Möller et al., 2014). Une autre hypothèse serait que la dépression soit expliquée par la fatigue plutôt que l'inverse. En effet, la fatigue est un critère diagnostic de dépression (Gullo et al., 2019 ; Havlikova et al., 2008).

En ce qui concerne l'âge subjectif, l'observation du fait que l'âge subjectif que les personnes s'attribuent diminue de plus en plus au fil de l'âge (Hubley & Russel, 2009 ; Stephan et al., 2015) suggère que le pattern est différent de celui de la fatigue. En effet, la résistance à la fatigue ne semble pas suivre une trajectoire linéaire au fil du temps puisque les personnes middle-aged apparaissent davantage impactées que les personnes jeunes et âgées (Gilsoul et al., under review).

Au niveau de la santé subjective, le lien existant dans la littérature actuellement relie la santé subjective à la qualité de vie (Wang, Palmer, Cocker & Sanderson, 2017), il se pourrait que la santé subjective ne joue pas un rôle direct dans l'apparition de la fatigue.

Enfin, la mesure de l'éveil subjectif est une mesure très globale et ne reposait que sur une seule question, ceci n'a peut-être pas permis de rendre adéquatement compte de leur niveau d'éveil subjectif.

Deuxièmement, la variabilité de certains scores était relativement faible, notamment à cause de la création d'un score composite. En effet, le fait de passer par plusieurs scores (standardisation, moyennage, standardisation) diminue la variabilité de ces derniers. Cela aurait donc impacté les analyses de la fatigue cognitive, la fatigue mentale et la santé subjective.

Troisièmement, la part d'explication des temps de réaction par l'individu est très élevée (60% pour les items facilitateurs et interférents et 30% pour les items neutres), ce qui pourrait gommer la significativité des autres régresseurs une fois contrôlés par l'apport de cette variable.

Enfin, la dernière hypothèse prend racine dans le modèle d'Enoka et Duchateau (2016). Dans ce modèle, la mesure des temps de réaction constitue une mesure de fatigabilité de performance, par distinction avec la fatigabilité perçue. Or, ces deux types de fatigabilité ne sont pas causés par les mêmes facteurs. En fait, les facteurs subjectifs tels que nous les avons mesurés sont, selon ce modèle, plutôt considérés comme des causes relevant de la fatigabilité perçue. En revanche, les causes de la fatigabilité de performance correspondent davantage à des fonctions contractiles telles que des variables physiologiques (calcium, métabolisme, etc) ou à l'activation de muscles (feedback sensoriels, activation volontaire de patterns d'activation, etc). Ainsi, il n'est pas surprenant de ne pas observer de lien entre les régresseurs subjectifs et les temps de réaction si nous nous rapportons à ce modèle.

D. Application pratique des résultats

Ce travail est en accord avec des données souvent rencontrées dans la littérature. Tout d'abord, la fatigue perçue et objective suivent un même pattern, c'est-à-dire qu'elles augmentent toutes les deux lors d'une tâche cognitive prolongée. Cette fatigue est également accompagnée d'autres sentiments subjectifs tels qu'une diminution de la motivation et de l'éveil et une augmentation de la perception de l'effort fourni. Ensuite, ce travail marque l'importance de considérer des variables intrinsèques au participant comme étant la cause principale de l'apparition de la fatigue. Ce sont ces aspects intrinsèques à l'individu qu'il faut investiguer pour déterminer les phénomènes sous-jacents à l'apparition de la fatigue.

Il semblerait également que des facteurs subjectifs (dépression, questionnaires de fatigue cognitive et mentale, âge subjectif, santé subjective, éveil subjectif) ne permettent pas d'expliquer l'apparition de la fatigue cognitive.

Enfin, ce travail confirme la validité d'utiliser une tâche de Stroop informatisée de longue durée pour mesurer l'apparition de la fatigue cognitive.

E. Limites et perspectives futures

Certaines limites ont déjà été mentionnées. Nous allons ici les résumer et proposer d'autres alternatives. Pour plus de clarté, les limites et perspectives futures seront d'abord présentées à un niveau théorique, puis méthodologique.

1. Niveau théorique

Le choix des régresseurs est une limite en soi. En choisissant les aspects subjectifs, il semblerait que nous ne ciblions pas correctement les causes de la fatigabilité de performance (modifications des temps de réaction en fonction du temps passé sur la tâche), en tout cas selon Enoka et Duchateau (2016). Le choix d'autres variables serait peut-être davantage approprié. Selon ces auteurs, ce seraient davantage des mesures physiologiques ou musculaires qui rendraient compte de la fatigabilité de performance. Pour ce faire, nous pourrions prendre des mesures à ce niveau-là. Toutefois, ce faisant, nous sortons d'une étude purement comportementale. Des variables moins subjectives pourraient également être intégrées. Dans cette étude, nous disposons de données concernant la santé objective, notamment la force de préhension et la pression artérielle ainsi que des données concernant l'éveil objectif (PVT) et la pupillométrie (Phasya). De telles mesures seraient peut-être plus aptes à rendre compte de l'installation de la fatigue. Toutefois, ces données n'ont été prises qu'une seule fois, avant l'administration de la tâche. Or, il serait intéressant d'avoir également ces mesures après avoir effectué la tâche, voire même pendant la réalisation de cette tâche.

Pour mieux cerner les facteurs constituant la variabilité interindividuelle, les variables de personnalité pourraient être étudiées. En effet, il a été montré que les personnes avec un haut niveau de perfectionnisme, de neuroticisme et un faible niveau d'extraversion sont davantage à risque de montrer des signes de fatigue. Ces variables de personnalité influencent notamment la façon dont les individus vont percevoir la motivation, les récompenses et les punitions (Boksem & Tops, 2008). De plus, les fonctions exécutives pourraient également être mesurées lors du premier rendez-vous afin de déterminer si le lien entre les fonctions exécutives et les variations des temps de réaction se confirme. En effet, ces fonctions exécutives ont été liées à la fatigue à de nombreuses reprises (Boksem et al., 2006 ; Hockey, 2011 ; Ishii et al., 2014 ; Lorist et al., 2009 ; Wang et al., 2014) et pourraient donc contribuer à cette variabilité interindividuelle.

Les régresseurs subjectifs que nous avons utilisés dans cette étude pourraient être utilisés pour comprendre la fatigabilité perçue ou fatigue subjective. Dans cette optique, une régression linéaire permettant d'expliquer les scores de différence entre la VAS fatigue administrée avant et après la tâche pourrait être réalisée à partir de ces six régresseurs. Ainsi, il sera éventuellement possible de mettre en évidence un effet de ces régresseurs sur la fatigue perçue par le volontaire.

De plus, dans cette étude, nous avons séparé les scores de fatigue cognitive et fatigue physique. Or, selon certains auteurs, la fatigue est un concept unique. La division de ce concept risque de diminuer la part d'explication de ce facteur. Il pourrait être intéressant de les rassembler en un score unique pour tenter de voir si cela permet une meilleure explication de la fatigue.

Les questionnaires de fatigue cognitive et physique sont des questionnaires contenant des questions sur des situations déjà vécues ou imaginées, à remplir avant la venue au Cyclotron. Ce faisant, nous rendons peut-être compte d'une fatigue plus générale alors que la fatigue qui serait le plus liée à la fatigue observée lors de la tâche cognitive seraient des mesures plus situationnelles. Il serait donc judicieux de poser des questions plus détaillées, en évoquant également des mesures de motivation et de préférence (Burke et al., 2018). En effet, il a été prouvé que la motivation jouait un rôle important dans l'apparition de la fatigue, ne pas l'avoir intégrée dans cette étude constitue une lacune à laquelle il faudrait remédier en intégrant des questionnaires (sous forme d'échelle de Likert) ou de modification de la récompense.

2. Niveau méthodologique

Dans un premier temps, les facteurs ont été groupés selon nos choix, basés sur la littérature et des discussions au sein de l'équipe. Il se pourrait que le choix de ces regroupements ne soit pas le meilleur et ne soit pas adapté à l'étude. De plus, cela nous donne un grand nombre de variables à tester comme explicateurs, ce qui limite leur chance de devenir significatives puisque l'apport de chaque variable est contrôlé par rapport à toutes les autres. Pour résumer, certains regroupements comportent peut-être des variables inadéquates. D'autre part, certaines variables rentrées seules, telles que la dépression ou l'âge subjectif, sont peut-être non significatives prises isolément alors qu'elles deviendraient significatives si elles étaient regroupées en un facteur plus large. Il serait alors intéressant de permettre un meilleur regroupement des variables au moyen d'une analyse factorielle confirmatoire. Cela permettrait de diminuer les variables en jeu et de créer des groupements qui seraient alors potentiellement plus significatifs. Pour réaliser de telles analyses, un plus grand échantillon sera nécessaire pour traiter toutes les variables. Si l'on se réfère à Field et al. (2012), un minimum de dix participants par variable est requis pour pouvoir utiliser ce genre d'analyse, ce qui correspondrait à un échantillon de plus de 200 personnes.

Une autre limite méthodologique consiste en la réalisation de trois modèles différents pour l'analyse des temps de réaction extrêmes en fonction du type d'item (facilitateurs, interférents, neutres). Dans d'autres études, il pourrait être envisagé d'étudier le type d'item comme étant une variable explicative. Cela permettrait de voir quel type de stimulus est davantage lié à l'apparition de la fatigue.

V.CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Ce travail permet de confirmer qu'une tâche cognitive prolongée induit une augmentation du niveau de fatigue perçue et d'effort, ainsi qu'une diminution de motivation et d'éveil. D'autres études sont nécessaires pour déterminer la nature des liens existant entre la fatigue objectivée au moyen des temps de réaction et ces différentes mesures.

Au niveau des explicateurs de la fatigue, la variabilité interindividuelle joue un rôle important. Il est clair que l'apparition de la fatigue est différente selon la personne. Toutefois, les variables intrinsèques impactant le plus la fatigue sont encore peu connues. D'autres études, investiguant notamment des variables davantage physiologiques et mécaniques, sont nécessaires pour mieux comprendre cette variabilité interindividuelle. Le temps passé sur la tâche permet également de rendre compte de la fatigue, mais uniquement pour les items facilitateurs et interférents. Cela correspond à l'effet Time-on-Task. Dans un premier temps, il y a une phase d'habituation (les temps de réaction diminuent), puis les temps de réaction augmentent. Le fait de constater également une augmentation du sentiment subjectif de fatigue suite à cette tâche permet de valider l'utilisation d'une tâche de Stroop prolongée dans l'étude de la fatigue cognitive de façon objective. La fatigue se remarque plutôt sur les items interférents car ils nécessitent des fonctions exécutives davantage susceptibles à la fatigue. En revanche, les items neutres semblent réagir différemment. En fait, ils ne semblent pas sensibles à la fatigue et leur temps de réaction ne varient pas en fonction du temps.

La fatigue s'observe donc au travers des temps de réaction dans une tâche de Stroop de longue durée. Elle est accompagnée d'une diminution de la motivation et de l'éveil et d'une augmentation de l'effort fourni. Cette fatigue est particulièrement liée à des variables propres à l'individu.

Pour parvenir à mieux comprendre la fatigue, il serait judicieux de chercher quels sont les paramètres constituant cette variabilité interindividuelle. Il faudrait tout particulièrement investiguer des paramètres mécaniques et physiologiques telles que la diminution de calcium, la sensibilité, etc. Des mesures de personnalité pourraient également être prises afin de rendre compte de cette variabilité.

VI. LISTE DE REFERENCES

- Aaronson, L.S., Teel, C.S., Cassmeyer, V., Neuberger, G.B., Pallikkathayil, L., Pierce,...Wingate, A. (1999). Defining and measuring fatigue. *Journal of Nursing Scholarship*, 31(1), 45-50. doi:10.1111/j.1547-5069.1999.tb00420.x
- Aarts, S., Van den Akker, M., Tan, F.E.S., Verhey, F.R.J., Metsemakers, J.F.M., & Van Boxtel, M.P.J. (2011). Influence of multimorbidity on cognition in a normal aging population: a 12-year follow-up in the Maastricht Aging Study. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 26, 1046-1053. doi:10.1002/gps.2642
- Akerstedt, T., Knutsson, A., Westerholm, P., Theorell, T., Alfredsson, L., & Kecklund, G. (2004). Mental fatigue, work and sleep. *Journal of Psychosomatic Research*, 57, 427-433. doi:10.1016/j.jpsychores.2003.12.001
- Ansado, J., Monchi, O., Ennabil, N., Faure, S., & Joanette, Y. (2012). Load-dependent posterior-anterior shift in aging in complex visual selective attention situations. *Brain Research*, 1454, 14-22. doi: 10.1016/j.brainres.2012.02.061
- Ashman, T.A., Cantor, J.B., Gordon, W.A., & Spielmann, L. (2008). Objective measurement of fatigue following traumatic brain injury. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 23(1), 33-40. doi: 10.1097/01.HTR.0000308719.70288.22
- Barnett, K., Mercer, S.W., Norbury, M., Watt, G., Wyke, S., & Guthrie, B. (2012). Epidemiology of multimorbidity and implications for health care, research, and medical education: a cross sectional study. *The Lancet*, 380(9836), 37-43. doi:10.1016/S0140-6736(12)60240-2
- Beaumeister, R.E., Heatherton, T.F., & Tice, D.M. *Losing control: How and why people fail at self-regulation*. San Diego, CA: Academic Press
- Blais, F.C., Gendron, L., Mimeaule, V., Morine, C.M. (1997). Évaluation de l'insomnie : validation de trois questionnaires. *L'Encéphale*, 23, 447-453.
- Boksem, M. A. S., Meijman, T. F., & Lorist, M. M. (2006). Mental fatigue, motivation and action monitoring. *Biological Psychology*, 72, 123-132. doi:10.1016/j.biopsych.2005.08.007
- Boksem M. A. S., Tops, M. (2008). Mental fatigue: Costs and benefits. *Brain Research Reviews*, 59, 125-139. doi:10.1016/j.brainresrev.2008.07.001

- Borragan P. G. (2016). *Behavioural bases and functional dynamics of cognitive fatigue* [Unpublished master's thesis]. Université Libre de Bruxelles.
- Burke, S. E., Samuel, I. B. H., Zhao, Q., Cagle, J., Cohen, R. A., Kluger, B., & Ding, M. (2018). Task-based cognitive fatigability for older adults and validation of mental fatigability subscore of Pittsburgh fatigability scale. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 10, 327. doi: 10.3389/fnagi.2018.00327
- Cabeza, R. (2002). Hemispheric asymmetry reduction in older adults: The HAROLD Model. *Psychology and Aging*. 17, 85-100. doi:10.1037/0882-7974.17.1.85
- Charlson, M.E., Pompeu, P., Ales, K.L., & MacKenzie, C.R. (1987). A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: Development and validation. *Journal of chronic diseases*, 40(5), 373-383. doi: 10.1016/0021-9681(87)90171-8
- Chaudhuri, A., & Behan, P. O. (2000). Fatigue and basal ganglia. *Journal of the Neurological Sciences*, 179(1), 34-42. doi: 10.1016/S0022-510X(00)00411-1
- Com-Ruelle, L., Lecomte, T., Le Fur, P., Mizrahi, An., Mizrahi, Ar., & Sermet, C. (1997). Un indicateur de gravité des maladies : Enquêtes sur la santé et les soins médicaux. Rapport Irdes, 460, 21.
- Davis, J.M. & Bailey, S.P. (1997). Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29(1), 45-57.
- De Jong, M., Jolij, J., Pimenta, A., & Lorist, M.M. (2018). Age modulates the effects of mental fatigue on typewriting. *Frontiers in Psychology*, 9. doi:10.3389/fpsyg.2018.01113
- Dobryakova, E., Genova, H. M., DeLuca, J., & Wylie, G. R. (2015). The dopamine imbalance hypothesis of fatigue in multiple sclerosis and other neurological disorders. *Frontiers in Neurology*, 6. doi:10.3389/fneur.2015.00052
- Enoka, R., & Duchateau, J. (2016). Translating fatigue to human performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(11), 2228-2238. doi: 10.1249/MSS.0000000000000929
- Evans, D.R., Boggero, I.A., & Segerstrom, S.C. The nature of self-regulatory fatigue and “Ego Depletion”: Lessons from physical fatigue. *Personality and Social Psychology Review*, 20(4), 291-310. doi: 1 0.1177/1088868315597841

Farnsworth, D. (1947). *The Farnsworth dichotomous test for color blindness: Panel D-15; Manual*. The Psychological Corp.

Ferreira, D., Correia, R., Nieto, A., Machado, A., Molina, Y., & Barroso, J. (2015). Cognitive decline before the age of 50 can be detected with sensitive cognitive measures. *Piscothema*, 27, 216-222. doi:10.7334/psicothema2014.192

Field, A. P., Miles, J., & Field, Z. (2012). *Discovering statistics using R*. London : SAGE.

Foley, T., & Monika F. (2008). Neuroplasticity of dopamine circuits after exercice : implications for central fatigue. *NeuroMolecular Medicine*, 10(2). doi: 10.1007/s12017-008-8032-3

Führer, R., & Rouillon, F. (1989). La version française de l'échelle CES-D (Centre for Epidemiologic Studies-Depression Scale). Description et traduction de l'échelle d'autoévaluation. *European Psychiatry*, 4, 163-166.

Gergelyfi, M., Jacob, B., Olivier, E., & Zénon, A. (2015). Dissociation between mental fatigue and motivational state during prolonged mental activity. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 9. doi:10.3389/fnbeh.2015.00176

Gimeno, P.T., Cerezuela, G.P., & Montanes, M.C. (2006). On the concept and measurement of driver drowsiness, fatigue and inattention: Implications for countermeasures. *International Journal of Vehicles Design*, 42, 67-86. doi: 10.1504/IJVD.2006.010178

Gullo, H., Fleming, J., Bennett, S., & Shum, D.H.K. (2019). Cognitive and physical fatigue are associated with distinct problems in daily functioning, role fulfilment, and quality of life in multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, 31, 118-123. doi: 10.1016/j.msard.2019.03.024

Habeck, C., Shannon, R., Lee, G.J., Glymour, M.M., Mormino, E., Mukherjee, S., Kim, S., Nho, K., DeCarli, C., Saykin, A., & Crane, P.K. (2012). Relationship between baseline brain metabolism measured using [18F]FDG PET and memory and executive function in prodromal and early Alzheimer's disease. *Brain Imaging and Behaviour*, 6(4), 568-583. doi: 10.1007/s11682-012-9208-x

Havlikova, E., Jitse, P., Rosenberger, J., Nagyova, I., Middel, B., Bubayova, T., Gdovinova, Z., & Groothoff, J.W. (2008). Fatigue in Parkinson's disease is not related to excessive

sleepiness or quality of sleep. *Journal of the Neurological Sciences*, 270(1), doi: 10.1016/j.jns.2008.02.013

Heathcote, A., Stephen, P., & Mewhort, D.J.K. (1991). Analysis of response time distributions: An example using the Stroop task. *Psychological Bulletin*, 109(2), 340-347. doi: 10.1037//0033-2909.109.2.340

Herlambang, M.B., Taatgen, N.A., & Cnossen, F. (2019). The role of motivation as a factor in mental fatigue. *Human Factors and Ergonomics Society*, 28, 1-15. doi:10.1177/0018720819828569

Hockey, G. R. J. (2011). A motivational control theory of cognitive fatigue. In P.L. Ackerman (Ed.), *Cognitive fatigue: multidisciplinary perspectives on current research and future applications* (pp. 167-188). Washington, DC: American Psychological Association

Holtzer, R., Shuman, M., Mahoney, J.R., Lipton, R., & Verghese J. (2011). Cognitive fatigue defined in the context of attention networks. *Aging Neuropsychology, and Cognition*, 18, 108-128. doi:10.1080/13825585.2010.517826

Hopstaken, J. F., Van der Linden, D., Bakker, A. B., & Kompier, M. A. J. (2015). The window of my eyes: Task disengagement and mental fatigue covary with pupil dynamics. *Biological Psychology*, 110, 100-106. doi:10.1016/j.biopsych.2015.06.013

Hopstaken, J.F., Van Der Linden, D., Bakker, A.B., Kompier, M.A.J, & Kiu Leung, Y. (2016). Shifts in attention during mental fatigue: Evidence from subjective, behavioural, physiological, and eye-tracking data. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 42, 878-889. doi:10.1037/xhp0000189

Hubley, A. M., & Russel, L. B. (2009). Prediction of subjective age, desired age, and age satisfaction in older adults: Do some health dimensions contribute more than others?. *International Journal of Behavioral Development*, 33(1), 12-21. doi: 10.1177/0165025408099486

Huibers, M. J. H., Beurskens, A. J. H. M., Prins, J. B., Kant, I. J., Bazelmans, E., Van Schayck,...Bleijenberg, G. (2003). Fatigue, burnout, and chronic fatigue syndrome among employees on sick leaves: do attributions make the differences?. *Occupational and environmental medicine*, 60, 26-31. doi:10.1136/oem.60.suppl_1.i26

Inzlicht, M., & Marcra, S.M. (2016). The central governor model of exercise regulation teaches us precious little about the nature of mental fatigue and self-control failure. *Frontiers in Psychology*, 7, 656. doi: 10.3389/fpsyg.2016.00656

Ishii, A., Tanaka, M., & Watanabe, Y. (2014). Neural mechanisms of mental fatigue. *Reviews in the Neurosciences*, 25(4), 469-479. doi: 10.1515/revneuro-2014-0028

Janardhan, V., & Bakshi, R. (2002). Quality of life in patients with multiple sclerosis: The impact of fatigue and depression. *Journal of Neurologic Sciences*, 205, 51-58. doi: 10.1016/S0022-510X(02)00312-X

Jiang, N., Sato, T., Hara, T., Takedomi, Y., Ozaki, I., & Yamada, S. (2003). Correlations between trait anxiety, personality and fatigue study based on the temperament and character inventory. *Journal of Psychiatry Research*, 55(6), 491-500. doi: 10.1016/S0022-3999(03)00021-7

Johns, M. (1991). A new method for measuring daytime sleepiness: the Epworth sleepiness scale. *Sleep*, 14, 540-545. doi:1798888 Version:1

Kaida, K., Takahashi, M., Akerstedt, T., Nakata, A., Otsuka, Y., Haratani, T., & Fukasawa, K. (2006). Validation of the Karolinska sleepiness scale against performance and EEG variables. *Clinical Neurophysiology*, 117, 1574-1581. doi:10.1016/j.clinph.2006.03.011

Keefe, R.S.E., Goldberg, T.E., Harvey, P.D., Gold, J.M., Poe, M.P., & Coughenour, L. (2004). The Brief Assessment of Cognition in Schizophrenia: reliability, sensitivity, and comparison with a standard neurocognitive battery. *Schizophrenia Research*, 68(2), 283-297. doi: 10.1016/j.schres.2003.09.011

Kesse-Guyot, E., Andreeva, V.A., Lassale, C., Hercberg, S., & Galan, P. (2014). Clustering of midlife lifestyle behaviors and subsequent cognitive function: A longitudinal study. *American Journal of Public Health*, 104(11), 170-177. doi: 10.2105/AJPH.2014.302121

Klaassen, E. B., Evers, E. A. T., De Groot, R. H. M., Backes, W., Veltman, D. J., & Jolles, J. (2014). Working memory in middle-aged males: Age-related brain activation changes and cognitive fatigue effects. *Biological Psychology*, 96, 134-143. doi:10.1016/j.biopsych.2013.11.008

Klaassen, E.B., Plukaard, S., Evers, E.A.T., De Groot, R., Backes, W.H., Veltman, D.J., & Jolles, J. (2016). Young and middle-aged schoolteachers differ in the neural correlates

of memory encoding and cognitive fatigue: A functional MRI study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10. doi:10.3389/fnhum.2016.00148

Kluger, B.M., Krupp, L.B., & Roger, M. (2013). Fatigue and fatigability in neurologic illnesses: Proposal for a unified taxonomy. *Neurology*, 80(4), doi: 10.1212/WNL.0b013e31827f07be

Kohl, A. D., Wylie, G. R., Genova, H. M., Hillary, F. G., & DeLuca, J. (2009). The neural correlates of cognitive fatigue in traumatic brain injury using functional MRI. *Brain Injury*, 23, 420-432. doi:10.1080/02699050902788519

Krupp, L.B., Larocca N., Muir-Nash, J., & Steinberg, A.D. (1989). The fatigue severity scale. Application to patients with multiple sclerosis and systemic lupus erythematosus. *JAMA Neurology*, 46(10), 1121-1123.

Kuppuswamy, A. (2017). The fatigue conundrum. *Brain*, 140(8), 2240-2245. doi: 10.1093/brain/awx153

Lal, S. K. L., & Craig, A. (2001). A critical review of the psychophysiology of driver fatigue. *Biological Psychology*, 55, 173-194. doi:10.1016/S0301-0511(00)00085-5

Leplège, A., Ecosse, E., Verdier, A., & Perneger, T. (1998). The French SF-36 Health Survey : Translation, cultural adaptation and preliminary psychometric evaluation. *Journal of Clinical Epidemiology*, 51, 1013-1023. doi:10.1016/S0895-4356(98)00093-6

Leplège, A. (2001). *Mesure de la santé perceptuelle et de la qualité de vie : méthodes et applications*. Paris, France: Editions ESTEM.

Lorist, M. M., Klein, M., Nieuwenhuis, S., De Jong, R., Mulder, G., & Meijman, T. F. (2000). Mental fatigue and task control: Planning and preparation. *Psychophysiology*, 37, 614-625. doi:10.1111/1469-8986.3750614

Lorist, M. M., Bezdan, E., Ten Caat, M., Span, M. M., Roerdink, J. B. T. M., & Maurits, N. M. (2009). The influence of mental fatigue and motivation on neural network dynamics; an EEG coherence study. *Brain Research*, 1270, 95-106. doi:10.1016/j.brainres.2009.03.015

Lou, J-S., Kearns, G., Oken, B., Sexton, G., & Nutt, J. (2001). Exacerbated physical fatigue and mental fatigue in Parkinson's disease. *Movement Disorder*, 16(2). doi: 10.1002/mds.1042

- MacGarrigle, R., Dawes, P., Stewart, A.J., Kuchinsky, S.E., & Munro, K.J. (2016). Pupillometry reveals changes in physiological arousal during a sustained listening task. *Psychophysiology*, 54, 193-203. doi:10.1111/psyp.12772
- Mackinnon, A., & Mulligan, R. (2005). Estimation de l'intelligence pré morbide chez les francophones. *L'encéphale*, 31(1), 31-43. doi:10.1016/S0013-7006(05)82370-X
- MacLeod, C.M., & MacDonald, P. A. (2000). Interdimensional interference in the Stroop effect: uncovering the cognitive and neural anatomy of attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(10), 383-391. doi: 10.1016/S1364-6613(00)01530-8
- Mairesse, O., Damen, V., Newell, K., Kornreich, C., Verbanck, P., & Neu, D. (2017). The Brugmann Fatigue Scale: An analogue to the Epworth Sleepiness Scale to measure behavioral rest propensity. *Behavioral Sleep Medicine*, 1-22. doi:10.1080/15402002.2017.1395336
- May, J., & Baldwin, C.L. (2009). Driver fatigue: The importance of identifying causal factors of fatigue when considering detection and countermeasure technologies. *Transportation Research*, 12(3), 218-224. doi: 10.1016/j.trf.2008.11.005
- Meeusen, R., Watson, P., Hasegawa, H., Roelands, B., & Piacentini, M.F. (2006). Central fatigue: The serotonin hypothesis and beyond. *Sports Medicine*, 36(10). doi: 10.2165/00007256-200636100-00006
- Möller, M.C., de Boussard, C.N., Oldenburg, C., & Bartfai, A. (2014). An investigation of attention, executive and psychomotor aspects of cognitive fatigability. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 36(7), 716-729. doi: 10.1080/13803395.2014.933779
- Nelder, J., & Mead, R. (1965). A simplex method for function minimization. *Computer Journal*, 7, 308-313. doi: 10.1093/comjnl/7.4.308
- Noakes, T.D., Saint Clair Gibson, A., & Lambert, E.V. (2005). From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans. *British Journal of Sports Medicine*, 39, 120-124. doi: 10.1136/bjsm.2003.010330

- Noakes, T.D. (2012). Fatigue is a brain-derived emotion that regulates the exercise behaviour to ensure the protection of whole body homestasis. *Frontiers in Physiology*, 3, 82. doi: 10.3389/fphys.2012.00082
- Park, D., & Reuter-Lorenz, P. (2009). The adaptative brain : Aging and neurocognitive scaffolding. *Annual Review of Psychology*, 60, 173-196. doi:10.1146/annurev.psych.59.103006.093656
- Parsons, T.D., & Barnett, M. D. (2018). Virtual apartment stroop task: Comparison with computerized and traditional stroop tasks, *Journal of Neuroscience Methods*, 309, 35-40. doi: 10.1016/j.jneumeth.2018.08.022
- Penners, I., Raselli, C., Stöcklin, M., Opwis, K., Kappos, L., & Calabrese, P. (2009). The Fatigue Scale for Motor and Cognitive Functions (FSMC): Validation of a new instrument to assess multiple sclerosis-related fatigue. *Multiple Sclerosis*, 15, 1509-1517. doi:10.1177/1352458509348519
- Persson, J., Larsson, A., & Reuter-Lorenz, P.A. (2013). Imaging fatigue of interference control reveals the neural basis of executive resource depletion. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25, 338-351. doi:10.1162/jocn_a_00321
- Raichle, M.R., & Mintun, M.A. (2006). Brain work and brain imaging. *Annual Review of Neuroscience*, 29, 449-476. doi: 10.1146/annurev.neuro.29.051605.112819
- Reuter-Lorenz, P., & Cappell, K.A. (2008). Neurocognitive aging and the compensation hypothesis. *Current Directions in Psychological Science*, 17, 117-182. doi:10.1111/j.1467-8721.2008.00570.x
- Phillips, R.O. (2015). A review of definitions of fatigue – And a step towards a whole definition. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 29, 48-56. doi:10.1016/j.trf.2015.01.003
- Salat, D. H., Buckner, R. L., Snyder, A. Z., Greve, D. N., Desikan, R. S. R., Busa,...Fischl, B. (2004). Thinning of the cerebral cortex in aging. *Cerebral Cortex*, 14, 721-730. doi:10.1093/cercor/bhh032
- Saville, C.W.N., Pawling, R., Trullinger, M., Daley, D., Intriligator, J., & Klein, C. (2011). On the stability of instability: Optimising the reliability of intra-subject variability of

reaction times. *Personality and Individual Differences*, 51(2), 148-153. doi: 10.1016/j.paid.2011.03.034

Schröder, H., Fito, M., Estruch, R., Martinez-Gonzalez, M.A., Corella, D., Salas-Salvado, J., Lamuela-Raventos, R., Ros, E., Salaverra, I., Fiol, M., Lapetra, J., Vinyoles, E., Gomez-Gracie, E., Lahoz, C., Serra-Majem, L., Pinto, X., Ruiz-Gutierrez, V., & Covas, M-I. (2010). A short screener is valid for assessing mediterranean diet adherence among older spanish men and women. *The journal of Nutrition*, 141(6), 1140-1145. doi: 10.3945/jn.110.135566

Schweitzer & Paulhan : *Manuel pour l'inventaire d'Anxiété Trait-État (Forme Y)*. Laboratoire de Psychologie de la Santé, Université de Bordeaux II, 1990.

Skevington, S.M., Lotfy, M., & O'Connell, K.A. (2004). The world health organisation's WHOQOL-BREF quality of life assessment: Psychometric properties and results of the international field trial: A report from the WHOQOL Group. *Quality of Life Research*, 13(2), 299-310. doi: 10.1023/B:QURE.0000018486.91360.00

Spielberger, C. D. (1983). Manual for the state-trait anxiety inventory. *Redwood City, California: Mind Garden*

Stephan, Y., Sutin, A.R., Terracciano, A. (2015). "Feeling younger, walking faster": subjective age and walking speed in older adults, *AGE*, 37(5), 1-12. doi: 10.1007/s11357-015-9830-9

Stroop, J.R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662. doi:10.1037/h0054651

Tanaka, M., Ishii, A. & Watanabe, Y. (2013). Neural mechanisms underlying chronic fatigue. *Reviews in the Neurosciences*, 24(6), 617-628. doi: 10.1515/revneuro-2013-0035f

Tanaka, M., Ishii, A., & Watanabe, Y. (2015). Fatigue in the central nervous system. *Austin Journal of Clinical Neurology*, 2(1), 1020

Tanaka, M., Mizuno, K., Fukuda, S., Shigihara, Y., & Watanabe, Y. (2008). Relationships between dietary habits and the prevalence of fatigue in medical students. *Nutrition*, 24, 985-989. doi:10.1016/j.nut.2008.05.003

Tanaka, M., & Watanabe, Y. A new hypothesis of chronic fatigue syndrome: Co-conditioning theory. *Medical Hypotheses*, 75(2), 244-249. doi: 10.1016/j.mehy.2010.02.032

- Taya, F., Dimitriadis, S.I., Dragomir, A., Lim, J., Sun, Y., Kian Foong,...Bezrianos, A. (2018). Fronto-parietal subnetworks flexibility compensates for cognitive decline due to mental fatigue. *Human Brain Mapping*, 39, 3528-3545. doi:10.1002/hbm.24192
- Taylor, A., & Dorn, L. (2006). Stress, fatigue, health and risk of road accidents among professional drivers: The contribution of physical inactivity. *Annual Review of Public Health*, 27, 371-391. doi: 10.1146/annurev.publhealth.27.021405.102117
- Tops, M., & Lorist, M. (2004). To stress or relax: Neurochemical aspects of activity and rest. *Gedrag in Organisatie*, 17(1), 32-42.
- Van den Akker, M., Buntinx, F., Metsemakers, J.F.M, Roos, S., & Knottnerus, A. (1998). Multimorbidity in General Practice: Prevalence, incidence, and determinants of co-occurring chronic and recurrent diseases. *Journal of Clinical Epidemiology*, 51, 367-375. doi:10.1016/S0895-4356(97)00306-5
- Vander Haegen, M., & Etienne A.M. (2015). Questionnaire de symptômes somatiques parentaux en oncologie pédiatrique; SomaOnco. [Unpublished data]
- Vestergaard, S., Nayfield, S. G., Patel, K. V., Eldahah, B., Cesari, M., Ferrucci,...G., Guralnik, J. M. (2009). Fatigue in a representative population of older persons and its association with functional impairment, functional limitation, and disability. *Journal of Gerontology*, 64, 76-82. doi:10.1093/gerona/gln017
- Vohs, K.D., Baumeister, R.F., Schmeichel, B.J. (2012). Motivation, personal beliefs, and limited resources all contributes to self-control. *Journal of Experimental Social Psychology*, 48(4), 943-947. doi: 10.1016/j.jesp.2012.03.002
- Wang, C., Mingzhou, D., & Kluger, B.M. (2014). Change in intraindividual variability over time as a key metric for defining performance-based cognitive fatigability. *Brain and Cognition*, 85, 251-258. doi:10.1016/j.bandc.2014.01.004
- Wang, C., Trongnetrpunya, A., Samuel, I.B.H., Ding, M., & Kluger, B.M. (2016). Compensatory neural activity in response to cognitive fatigue. *Journal of Neuroscience*, 36(4), 3919-3924. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3652-15.2016
- Wang, L., Palmer, A. J., Cocker, F., & Sanderson, K. (2017). Multimorbidity and health-related quality of life (HRQoL) in a nationally representative population sample: Implications

of count versus cluster method for defining multimorbidity on HRQoL. *Health and Quality of Life Outcomes*, 15. doi:10.1186/s12955-016-0580-x

WHOQOL Group. (1994). Development of the WHOQOL: Rationale and current status. *International Journal of Mental Health*, 23, 24-56. doi:10.1080/00207411.1994.11449286

Wylie, G.R., Genova, H.M., DeLuca, J., & Dobryakova, E. (2017). The relationship between outcome prediction and cognitive fatigue: A convergence of paradigms. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 17, 838-849. doi:10.3758/s13415-017-0515-y

VII. ANNEXES

Annexe 1 : Lettre d'information donnée aux participants



Faculté de Psychologie, Logopédie et des Sciences de l'Education

Comité d'éthique

PRESIDENTE : Fabienne COLLETTE

SECRETAIRE : Annick COMBLAIN

Formulaire d'information au volontaire

TITRE DE LA RECHERCHE

Les capacités de concentration chez les personnes d'âge moyen : influence des facteurs de santé, des habitudes de sommeil, et de la qualité de vie.

CHERCHEUR / ETUDIANT RESPONSABLE

Jessica Gilsoul, Doctorante ; 04/366.23.62 ; jessica.gilsoul@uliege.be

PROMOTEUR

Fabienne Collette

Université de Liège

GIGA-CRC in Vivo Imaging- Aging and Memory Group

Allée du Six Août, n°8

Allée du Cyclotron, Bâtiment B30

Quartier Agora

4000 Sart-Tilman

DESCRIPTION DE L'ETUDE

OBJECTIF DE CETTE RECHERCHE

Cette étude a pour but de comprendre quels facteurs peuvent influencer les capacités d'attention et de concentration chez les personnes d'âge-moyen (middle-aged). Les facteurs potentiels que nous aimerais investiguer sont les facteurs de santé, la qualité de vie, ainsi que quelques variables liées aux habitudes de sommeil.

DÉROULEMENT DE L'EXPÉRIENCE

En pratique, l'expérience se déroule en deux séances. La première séance (à domicile ou au Centre) consiste en l'administration du consentement libre et éclairé, un questionnaire portant sur les données démographiques (nom, prénom, date de naissance,...), le cadre de vie, un questionnaire de nutrition, des questionnaires portant sur la qualité de vie, des questionnaires portant sur vos habitudes de sommeil, ainsi qu'un questionnaire de comorbidités permettant d'évaluer l'état de santé de façon générale. La seconde séance se déroule au GIGA-CRC in Vivo Imaging (anciennement appelé Centre de Recherche du

Cyclotron, Sart-Tilman) et consiste en l'administration d'une tâche de concentration de longue durée dans laquelle des mots de couleurs (BLEU, ROUGE, JAUNE, VERT) dont la couleur d'encre sera similaire à la signification du mot (par exemple, « BLEU » écrit en bleu) ou différente de la signification du mot (par exemple, « BLEU » écrit en rouge) vous seront présentés sur un ordinateur. Votre tâche sera d'indiquer le plus rapidement et le plus correctement possible la couleur d'impression du mot à l'aide des touches du clavier qui vous seront indiquées. Par moment, vous verrez apparaître des symboles XXXX, il faudra également en donner la couleur d'encre.

Nous ferons également un enregistrement oculaire rapide (dispositif simple permettant d'enregistrer les mouvements des yeux et des paupières) de façon simultanée à une tâche de vigilance psychomotrice de courte durée avant de commencer la séance. Ce procédé permettra d'obtenir une mesure de la dilatation de vos pupilles car celle-ci est liée à votre état d'éveil de base.

Lors de ce second rendez-vous, des mesures objectives non invasives de l'état de santé seront également recueillies : poids et taille (mesure de l'IMC), mesure de la pression artérielle et de la force musculaire.

L'expérience au GIGA-CRC in vivo Imaging est assez longue, en effet il vous faudra prévoir environ 3h30 de temps. Durant l'expérience, il vous sera également demandé d'enlever votre montre et de ne pas regarder l'heure (pas de GSM, tablette, etc.) durant toute la durée de l'expérience. Par ailleurs, une caméra servira également à vous « surveiller » en temps réel durant la durée de la tâche mais sans enregistrement afin que l'on puisse vérifier de la salle de contrôle que tout se passe bien pour vous.

Afin que l'expérience se déroule dans les conditions les plus optimales possibles, nous vous demanderons également, la semaine précédent l'expérience, de remplir un agenda du sommeil ainsi que d'aller dormir et de vous lever à heures relativement fixes. De plus, nous vous demanderons également de dormir au moins 6h avant l'expérience et de ne pas consommer de caféine, d'alcool ou autre substance psychoactive (Redbull, etc.) les 24h précédant l'expérience.

INFORMATIONS IMPORTANTES

Une rémunération de 20€ est prévue pour les volontaires qui participent à cette étude. Cette somme sera versée à la fin de l'étude sur votre compte bancaire.

Toutes les informations récoltées au cours de cette étude seront utilisées dans la plus stricte confidentialité et seuls les expérimentateurs, responsables de l'étude, auront accès aux données récoltées. Toutes les données acquises dans le cadre de cette étude seront traitées de façon anonyme¹. L'anonymat sera assuré de la façon suivante. A partir de la première étape

¹ L'anonymisation des données consiste à empêcher de faire un lien entre la personne ou l'entité qui a participé à l'étude et les données recueillies. Une première étape consiste à effacer le nom du fichier de données et à attribuer un code (tel que par exemple le numéro d'inclusion dans l'étude) ou un pseudonyme aux données. Ce code ou ce pseudonyme sera connu seulement de l'expérimentateur et du promoteur. Si une clé de décodage

de l'étude (le recrutement) et tout au long de l'acquisition et du stockage des données, vos données se voient attribuer un code de participant (SANTE001, SANTE = nom de l'étude, 001 = nom du participant). Seuls l'investigateur principal et la personne en charge du recrutement et de votre suivi auront accès à un fichier crypté, contenant votre nom, prénom, ainsi que vos coordonnées de contact. Ces personnes devront signer une déclaration de confidentialité. S'il est nécessaire de faire référence à un volontaire en particulier, ce ne sera qu'en utilisant des codes. Seul le responsable de l'étude ainsi que la personne en charge de votre suivi auront accès aux données, permettant d'associer le code de participant à son nom et prénom ainsi que ses coordonnées de contact.

Les données codées issues de votre participation à cette recherche peuvent être transmises pour utilisation dans le cadre d'une autre recherche en relation avec cette étude-ci, et elles seront éventuellement compilées dans des bases de données accessibles uniquement à la communauté scientifique. Les données que nous partageons ne seront pas identifiables et posséderont uniquement un numéro de code, de telle sorte que personne ne pourra en déduire votre nom ou quelles données sont les vôtres. En l'état actuel des choses, ces informations ne permettront pas de vous identifier. Si nous écrivons un rapport ou un article sur cette étude ou partageons les données, nous le ferons de telle sorte que vous ne pourrez pas être identifié directement. Nous garderons la partie privée de vos données (données d'identification comme nom, coordonnées, etc.) dans un endroit sûr pour un maximum de 2 années (durée nécessaire à la réalisation de l'étude). Après cette période de temps, nous détruirons ces informations d'identification pour protéger votre vie privée. Vos données privées conservées dans la base de données sécurisée sont soumises aux droits suivants : droits d'accès, de rectification et d'effacement de cette base de données. Pour exercer ces droits, vous devez vous adresser au chercheur responsable de l'étude ou, à défaut, au délégué à la protection des données de l'Université de Liège, dont les coordonnées se trouvent au bas du formulaire d'information. Les données issues de votre participation à cette recherche (données codées) seront quant à elles stockées pour une durée maximale de 15 ans.

Si vous changez d'avis et retirez votre consentement à participer à cette étude, nous ne recueillerons plus de données supplémentaires sur vous. Les données d'identification vous concernant seront détruites. Seules les données rendues anonymes pourront être conservées et traitées de façon statistique.

Les modalités pratiques de gestion, traitement, conservation et destruction de vos données respectent la loi définissant les droits du patient (loi du 22 août 2002), la loi du 7 mai 2004 relative aux études sur la personne humaine ainsi que le règlement général sur la protection des données (UE) 2016/679.

Une assurance a été souscrite au cas où vous subiriez un dommage lié à votre participation à cette recherche. Le promoteur assume, même sans faute, la responsabilité du dommage causé au participant (ou à ses ayants droit) et lié de manière directe ou indirecte à la participation à cette étude. Dans cette optique, le promoteur a souscrit un contrat d'assurance auprès d'Ethias, conformément à l'article 29 de la loi belge relative aux expérimentations sur la personne humaine (7 mai 2004).

doit être conservée, elle doit se trouver dans un fichier et répertoire différent de celui où sont stockées les données recueillies, et doit être cryptée

Vous signerez un consentement éclairé avant de prendre part à l'expérience. Vous conserverez une copie de ce consentement ainsi que les feuilles d'informations relatives à l'étude.

Cette étude a reçu un avis favorable de la part du comité d'éthique de la faculté de psychologie, logopédie et des sciences de L'éducation de l'Université de Liège. En aucun cas, vous ne devez considérer cet avis favorable comme une incitation à participer à cette étude.

Personnes à contacter

Vous avez le droit de poser toutes les questions que vous souhaitez sur cette recherche et d'en recevoir les réponses.

Si vous avez des questions ou en cas de complication liée à l'étude, vous pouvez contacter les personnes suivantes :

Gilsoul Jessica

Email : Jessica.Gilsoul@uliege.be

Téléphone : 04/366.23.62

ou l'investigateur principal du projet :

Collette Fabienne

Email : f.collette@uliege.be

Téléphone : 04/366.23.69

Adresse :

GIGA-CRC in Vivo Imaging

Allée du Six Août, n°8

Allée du Cyclotron, Bâtiment B30

Quartier Agora

4000 Sart-Tilman

Secrétariat :

04/366.23.16 Ou 04/366.36.87

Pour toute question, demande d'exercice des droits ou plainte relative à la gestion de vos données à caractère personnel, vous pouvez vous adresser au délégué à la protection des données par e-mail (dpo@uliege.be) ou par courrier signé et daté adressé comme suit :

Monsieur le Délégué à la protection des données

Bât. B9 Cellule "GDPR",

Quartier Village 3,

Boulevard de Colonster 2,

4000 Liège, Belgique.

Annexe 2 : Débriefing à l'intention des participants

Débriefing à l'intention des participants

Tout d'abord, nous vous remercions chaleureusement d'avoir participé à cette étude.

Ce présent projet de recherche consiste en fait à investiguer la fatigue cognitive chez les personnes d'âge-moyen (*middle-aged*). La fatigue mentale peut se définir comme la conséquence de périodes prolongées d'activités, requérant une efficience mentale soutenue. À l'heure actuelle, étant donné la quantité d'informations que les individus doivent traiter au quotidien mais également sur leur lieu de travail, la fatigue mentale est devenue une cause importante des accidents de la route, des erreurs humaines, mais également du burnout. Une première étude réalisée au GIGA-CRC *in vivo Imaging* a permis de mettre en évidence une plus grande susceptibilité à la fatigue cognitive chez les personnes d'âge-moyen (40-59 ans) comparativement à un groupe plus jeune (18-30 ans) mais également à un groupe plus âgé (60-80 ans). Dès lors, l'étude à laquelle vous avez participé vise à comprendre ce qui pourrait expliquer cette plus grande sensibilité à la fatigue dans cette population. Parmi les variables pouvant influencer cet état de fatigue, nous voulions investiguer la qualité de vie, l'état global de santé, la qualité du sommeil, et le niveau de fatigue subjective.

Lors de la première séance, nous vous avons demandé de compléter des échelles et questionnaires visant à investiguer ces quatre variables. Nous vous avons également demandé de remplir un agenda du sommeil, d'aller vous coucher et de vous lever à heures relativement fixes la semaine précédent l'expérience afin de favoriser au mieux votre état d'éveil le jour de l'expérience. Lors de la seconde séance, nous avons commencé par des mesures objectives non invasives de l'état de santé (IMC, pression artérielle, et force musculaire) ont également été recueillies ; ces indices feront parties du score global de santé. Nous vous avons également administré une tâche de vigilance psychomotrice (PVT) couplée au dispositif Phasya (paire de lunettes permettant de mesurer la taille de la pupille et la position du regard) afin de pouvoir enregistrer les variations de dilatation pupillaire face à une tâche cognitive. Ce procédé va nous permettre d'obtenir une mesure globale de votre état d'éveil avant de commencer l'expérience d'intérêt. Ensuite, vous avez effectué une tâche Stroop (mots de couleurs) d'une durée de 100 minutes. Cette tâche de longue durée servait à vous fatiguer mentalement. Notre but sera de décomposer cette tâche en quatre blocs de 25 minutes et de voir l'évolution de vos performances à mesure du temps passé sur la tâche. Nous prédisons que plus le temps passe, plus vous fatiguez, et plus vous allez ralentir votre vitesse de réaction. Ces résultats seront mis en relation avec les questionnaires réalisés lors de la première séance afin de voir quelle(s) variable(s) (qualité de vie, l'état global de santé, la qualité du sommeil, et le niveau de fatigue subjective) semble(nt) le plus liée(s) à l'installation de la fatigue cognitive sur les performances.

S'il vous reste des questions à propos de cette étude ou d'autres études réalisées au GIGA-CRC *in Vivo Imaging*, n'hésitez pas à téléphoner au 04/366.23.62 ou à envoyer un mail à l'adresse jessica.gilsoul@uliege.be.

Jessica Gilsoul et Fabienne Collette
Chercheurs F.R.S.-FNRS

Annexe 3 : Pondération du questionnaire de comorbidités

Certaines maladies / facteurs de risques étaient pondérés au cas par cas par le neurologue.

| Maladies / Facteurs de risques | Risque vital (0-5) | Invalidité (0-7) |
|---------------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Cholestérol | | |
| Hypotension | 1 | 2 |
| Hypertension | 1 | 0 |
| | | |
| Asthme | 2 | 3 |
| Bronchite chronique | 1 | 3 |
| Maladie respiratoire chronique | | |
| Maladie pulmonaire | | |
| Trouble de la circulation pulmonaire | 3 | 3 |
| | | |
| Cataracte | 0 | 1 |
| Glaucome | 0 | 1 |
| Myopie | 0 | 1 |
| Presbytie | 0 | 1 |
| Astigmatisme | 0 | 1 |
| | | |
| Insuffisance cardiaque | 4 | 5 |
| Arythmie | 2 | 1 |
| Fibrillation auriculaire | 1 | 1 |
| Angine de poitrine | 1 | 2 |
| Infarctus du myocarde | 4 | 5 |
| Maladie valvulaire | 1 | 3 |
| Maladie cardiaque | | |
| | | |
| Maladie coronarienne | 3 | 1 |
| Artériosclérose | | |
| Embolisme pulmonaire et phlébite | 3 | 5 |
| Maladie vasculaire périphérique | 2 | 4 |
| | | |
| AVC (thrombose, ischémie) | 4 | 5 |
| AIT (Accident Ischémique Transitoire) | 3 | 0 |
| | | |
| Migraines et maux de tête | 0 | 3 |
| Sclérose en plaques | 1 | 5 |
| Sclérose latérale amyotrophique | 4 | 6 |
| | | |
| Coma | 4 | 7 |
| Epilepsie | 1 | 5 |

| | | |
|---|-----|-----|
| Hydrocéphalie à la naissance | 1 | 0 |
| Hypoxie à la naissance | 3 | 3 |
| Intoxication au CO | 4 | 6 |
| Opération du cerveau | 0-5 | 0-7 |
| Fibromyalgie | 0 | 4 |
| Syndrome Fatigue Chronique | 0 | 4 |
| Syndrome des Jambes sans repos | 0 | 3 |
| Acouphènes | 0 | 1 |
| Autres maladies du système nerveux | 0-5 | 0-7 |
| Paralysie | | |
| | | |
| Anxiété | 1 | 4 |
| Dépression | 2 | 4 |
| Burnout | 1 | 4 |
| Anorexie, Boulimie | 2 | 1 |
| Schizophrénie | 3 | 4 |
| Troubles de l'humeur | 3 | 4 |
| Autres troubles mentaux | 1 | 4 |
| Syndrome prémenstruel | 0 | 1 |
| | | |
| Maladies gastro-intestinale | | |
| | | |
| Arthrose, Arthrite | 0 | 3 |
| Ostéoporose | 0 | 0 |
| Hernie discale | 0 | 2 |
| Prothèse du genou | 0 | 1 |
| Arthrite rhumatoïde | 0 | 5 |
| Fracture de la hanche | | |
| Prothèse de la hanche | | |
| | | |
| Mononucléose | 0 | 3 |
| Problèmes de coagulation | 3 | 3 |
| Anémie chronique (diminution globules rouges) | 0 | 1 |
| Cholestérol élevé/hyperlipidémie | 1 | 0 |
| | | |
| Obésité | 1 | 2 |
| Maigreur | 1 | 2 |
| | | |
| Hypothyroïdisme | 0 | 4 |
| Hyperthyroïdisme | 1 | 4 |
| | | |
| Maladies rénales chroniques | | |

| | | |
|---|-----|-----|
| Insuffisance rénale | 3 | 7 |
| Maladie chronique du foie | 0-5 | 0-7 |
| Abus d'alcool | 2 | 3 |
| Abus de drogue | 2 | 4 |
| Maladie parodontale (affection gencive) | 0 | 0 |
| Affection douloureuse | 0-5 | 0-7 |
| Malformation congénitale | 0-5 | 0-7 |
| Eczema, Psoriasis, Ulcères de la peau | 0 | 0 |
| Maladies des voies urinaires | 1 | 3 |
| Allergie | 1 | 0 |
| MST | | |
| Tuberculose | 4 | 3 |
| Maladies génétiques | | |
| Opération:... | 0-5 | 0-7 |
| Hospitalisation: ... | 0-5 | 0-7 |
| Anesthésie générale | | |
| C carences vitaminiques (B, D, E) | | |
| Autre:... | 0-5 | 0-7 |
| Neurologique (ex., Accident) : ... | 0-5 | 0-7 |
| Psychologique/Psychiatrique : ... | 0-5 | 0-7 |
| Démence: ... | 0-5 | 0-7 |

RESUME

La fatigue, et plus particulièrement la fatigue cognitive, est un phénomène rencontré par de nombreuses personnes. Elle peut être invalidante quand elle devient chronique et, de façon plus aigüe, elle peut mener à des erreurs et des accidents. Il est donc nécessaire de mieux comprendre ses fondements sous-jacents afin de la prévenir, voire la traiter. Si la littérature est assez importante pour les personnes jeunes et les personnes âgées, elle est par contre encore assez rare pour les personnes middle-aged.

Ce travail s'est donc intéressé à comprendre l'influence des facteurs subjectifs sur la fatigue au travers d'une étude Time-on-Task chez les personnes middle-aged. Pour ce faire, différents questionnaires ont été complétés par les participants et une tâche de Stroop de 100 minutes a été administrée en utilisant trois types d'items (facilitateurs, interférents, neutres). La quantité de temps de réaction extrêmes (paramètre tau) a été analysée grâce à la distribution ex-Gaussienne en regard des différentes variables subjectives : fatigue cognitive, fatigue physique, dépression, âge subjectif, santé subjective et éveil subjectif. L'effet du temps passé sur la tâche (effet du bloc) a été également analysé au moyen d'une division de la tâche en quatre blocs de 25 minutes.

Il s'avère que la fatigue cognitive est principalement expliquée par une variabilité propre aux participants pour tous les types d'items. Le temps passé sur la tâche permet également d'expliquer l'installation de la fatigue, sauf pour les items neutres qui sont de nature différente.

La fatigue objectivée au moyen d'un ralentissement des temps de réaction est également accompagnée de changements au niveau des sensations subjectives. En effet, il a pu être mis en évidence que la réalisation de la tâche induit une augmentation de la fatigue perçue et de l'effort fourni ainsi qu'une diminution de la motivation et du niveau d'éveil subjectif.

D'autres études sont nécessaires pour tenter de découvrir les variables qui constituent cette variabilité interindividuelle influençant la fatigue cognitive mesurées objectivement.