



**HAL**  
open science

# L'épuisement du Soi existe toujours en 2021 : étude des conditions expérimentales nécessaires à l'apparition de ce phénomène

Thomas Mangin

## ► To cite this version:

Thomas Mangin. L'épuisement du Soi existe toujours en 2021 : étude des conditions expérimentales nécessaires à l'apparition de ce phénomène. Psychologie. Université de Poitiers, 2021. Français. NNT: . tel-04774014

**HAL Id: tel-04774014**

**<https://hal.science/tel-04774014v1>**

Submitted on 12 Nov 2024

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NoDerivatives 4.0 International License

Thèse de doctorat de **Thomas Mangin** soutenue le 10 Décembre 2021

« L'épuisement du Soi Existe Toujours en 2021 : Étude des Conditions Expérimentales Nécessaires à l'Apparition de ce Phénomène »

Composition du jury :

Bénédicte POULIN-CHARRONAT : Rapporteuse, Directrice de Recherche, Université de Bourgogne Franche-Comté

Alexandre ZENON : Rapporteur, CNRS HDR, Université de Bordeaux

Cédric BOUQUET : Examineur et président du jury, Professeur, Université de Poitiers

Aina CHALABAEV : Examinatrice, Professeure, Université Grenoble Alpes

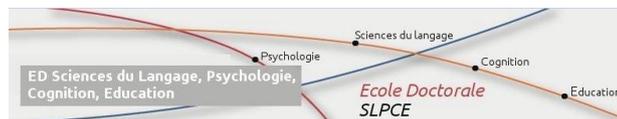
Michel Audiffren : Co-directeur de thèse, Professeur, Université de Poitiers

Nathalie André : Co-directrice de thèse, Maître de Conférence HDR, Université de Poitiers

Thèse défendue à l'Université de Poitiers, Faculté des Sciences Humaines et Arts (SHA)

Ecole doctorale 611, Sciences du Langage, Psychologie, Cognition, Education (SLPCE)

Unité de recherche « Centre de Recherches sur la Cognition et l'Apprentissage » (CeRCA), CNRS - UMR 7295



# THESE

En vue de l'obtention du grade de

**Docteur de l'Université de Poitiers**

**L'ÉPUISEMENT DU SOI EXISTE TOUJOURS EN 2021 :**

ETUDE DES CONDITIONS EXPÉRIMENTALES  
NÉCESSAIRES À L'APPARITION DE CE PHÉNOMÈNE

Par Thomas MANGIN

Sous la co-direction de Nathalie ANDRE (Mcf HDR) et de Michel AUDIFFREN (PR)

Membres du Jury :

Bénédicte POULIN-  
CHARRONAT

*Rapporteuse*

Directrice de Recherche,  
Université de Bourgogne Franche-Comté

Alexandre ZENON

*Rapporteur*

CNRS HDR, Université de Bordeaux

Cédric BOUQUET

*Examineur*

Professeur, Université de Poitiers

Aina CHALABAEV

*Examinatrice*

Professeure, Université Grenoble Alpes

**Ecole doctorale** 611, Sciences du Langage, Psychologie, Cognition, Education (SLPCE)

**Unité de recherche** « Centre de Recherches sur la Cognition et l'Apprentissage » (CeRCA)  
CNRS -UMR 7295

Faculté des Sciences Humaines et Arts (SHA)



## RÉSUMÉ

---

L'épuisement du soi est un phénomène qui connaît, depuis une décennie, un regain d'intérêt pour deux principales raisons. La première raison concerne le mécanisme censé expliquer l'effet. La seconde raison porte sur l'existence même de l'effet d'épuisement du soi. Il apparaît que les conditions nécessaires à l'apparition du phénomène sont mal définies. Ce travail de thèse avait pour objectif principal d'identifier ces conditions afin de répliquer l'effet d'épuisement du soi, c'est-à-dire en utilisant une tâche d'épuisement longue (i.e., 30 minutes) et en impliquant fortement l'autocontrôle (i.e., tâche de Stroop modifiée orale). Nous avons également utilisé la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement comme tâche dépendante, puisque celle-ci est régulièrement utilisée dans des études qui observent l'effet. Lors de la première étude, nous n'avons pas réussi à répliquer l'effet d'épuisement du soi. Nous avons cependant mis en évidence que la tâche contrôle utilisée (i.e., tâche de lecture de Stroop congruent) induisait un ennui important chez les participants, ce qui semble avoir également provoqué un épuisement des ressources. Il est donc nécessaire de contrôler l'ennui présent dans la tâche contrôle. Dans une seconde étude, nous avons évalué l'ennui, les changements émotionnels et motivationnels, ainsi que la fatigue lors d'une nouvelle tâche contrôle (i.e., visionnage d'un documentaire) et l'avons comparé à la tâche contrôle utilisant la tâche de lecture de Stroop congruent utilisée lors de la première étude. Cette nouvelle tâche a été évaluée comme émotionnellement neutre, n'induisant pas de fatigue ou d'ennui ou encore de changement motivationnel, contrairement à la tâche de lecture de Stroop congruent. Dans une troisième étude, l'utilisation de cette nouvelle tâche contrôle, ainsi qu'un protocole intra-sujets a permis de répliquer l'effet d'épuisement du soi. Nous avons montré que l'ennui ressenti dans la tâche d'épuisement était un modérateur de l'effet. De plus, il est clairement apparu qu'avec le temps passé sur la tâche de Stroop, la performance dans cette même tâche se dégradait. Ce résultat est important car il permet d'identifier un indice comportemental au cours de la tâche d'épuisement qui serait un prédicteur de l'effet d'épuisement au cours de la tâche dépendante. Par conséquent, nous avons manipulé le temps passé sur la tâche d'épuisement dans une quatrième étude afin de vérifier si ce facteur influençait la performance dans la tâche dépendante. Afin de contrôler l'intensité de l'effort au cours de la tâche, nous avons mesuré les ondes thêta ainsi que la variabilité de la fréquence cardiaque. Malheureusement, la pandémie

de SARS-COV2 ne nous a pas permis de recruter suffisamment de participants pour mener à terme cette étude.

Pour conclure, cette série d'expériences permet de faire émerger trois résultats importants. Tout d'abord, l'ennui ressenti au cours de la tâche contrôle serait associé à une perte rapide de sens ou d'intérêt dans la réalisation de la tâche, et provoquerait une augmentation de fatigue et de frustration. Ensuite, la motivation semble pouvoir expliquer une part de la variance de l'effet d'épuisement du soi, mais ne constitue pas une explication à part entière. Par conséquent, il existerait d'autres mécanismes plus importants permettant d'expliquer l'effet, comme les unités corticales de traitement de l'information. Enfin, l'effet d'épuisement du soi existe toujours en 2021 et cette série d'expériences pourrait redonner de l'élan à l'étude du phénomène de l'épuisement du soi.

**Mots clés :** Épuisement du soi ; Autocontrôle ; Fatigue mentale ; Ennui ; Tâche de serrage manuel ; Tâche de Stroop ; Analyses Bayésiennes

# *ABSTRACT*

---

Over the last decade, ego-depletion phenomenon has known a renewed interest for two main reasons. The first regards the mechanisms underlying the effect. The second reason regards the existence of the effect itself. It appears that the conditions needed for the effect to occur are not well defined. The main aim of this doctoral thesis was to replicate the ego-depletion effect. For this, we used a long depleting task (i.e., 30 minutes) that strongly solicits self-control (i.e., a modified oral Stroop task) and examined the extent to which it may affect performance on the endurance Handgrip task, a dependent task that is commonly used in ego-depletion research with many successful replications. In the first experiment we did not replicate the ego-depletion effect. However, we observed that the control task (i.e., reading congruent Stroop task) was evaluated as highly boring. Because aversive, such experienced boredom may have depleted our participants and affected our results, thus highlighting the necessity to control for boredom during the control task. In a second experiment, boredom, emotional and motivational changes, as well as fatigue were evaluated in a new control task (i.e., watching a documentary). Compared to the control task we used in the first experiment, this new control task was evaluated as emotionally neutral and did not induce boredom or changes in fatigue or motivation. In the third experiment, using the new control task and a within-subject design, we replicated the ego-depletion effect. Specifically, we showed that the boredom that was felt during the depleting was a moderator of the effect. In addition, it appeared that with the duration of the Stroop task, the performance on this task was reduced. This result indicates that the duration of the depleting task may be an important factor to observe the ego-depletion effect. Therefore, in the fourth experiment, we manipulated the depleting task duration to test whether this factor influences the performance on the dependent task. In this last experiment, we also measured theta waves produced by the brain during the task, and heart rate variability to control for the intensity of the produced effort. However, due to the SARS-COV2 pandemic, this experiment is still ongoing.

To conclude, this set of experiments allows us to bring out three important results. First, the boredom felt during the control task may be associated with a loss of meaning or interest, and then would cause increased fatigue and frustration. Second, although motivation seems to partly explain of the variance of the effect, it does seem to not constitute a full explanation suggesting that there may be other, more important mechanisms at play, such as the cortical

information processing units. Finally, the ego-depletion effect still exists in 2021. Taken together, this series of experiments may offer a new impetus to the ego-depletion research field.

**Key words:** Ego-depletion; Self-control; Mental fatigue; Boredom, Handgrip task, Stroop task, Bayesian analyses

## REMERCIEMENTS

---

En premier lieu, je souhaite remercier le plus sincèrement ma directrice et mon directeur pour l'encadrement qu'ils ont pu me fournir tout au long de ces quatre années de thèse. **Nathalie** et **Michel**, que j'ai rencontrés lors de ma deuxième année de Master, m'ont fait confiance et m'ont donné l'opportunité de me réaliser dans la recherche, à leurs côtés. Ils ont su me partager leur enthousiasme et m'aiguiller parfaitement, tout en me donnant la liberté dont j'avais besoin et dans le même temps le cadre suffisant pour que je puisse progresser. Tous les deux ont été bienveillants du début à la fin de ce projet de thèse, toujours de bonne humeur. Ce cadre de travail idéal m'a permis de donner le meilleur de moi-même. Je n'aurais pas pu rêver de meilleurs directeur et directrice.

Je souhaite remercier énormément **Benjamin Pageaux**, avec qui j'ai pu réaliser mon in-doc et qui va m'encadrer lors de mon post-doctorat au Canada. Il m'a toujours prodigué des conseils de grande qualité et très pointus me permettant de me perfectionner et a toujours répondu présent lorsque cela était nécessaire. Je le remercie aussi de m'avoir toujours encouragé et de m'avoir fait découvrir une partie de la littérature qui m'était inconnue.

Je souhaite remercier **Bénédicte Poulin-Charronat** et **Alexandre Zenon** d'avoir accepté d'être rapporteure et rapporteur de cette thèse.

Merci aux professeur·es **Cédric Bouquet** et **Aina Chalabaev** d'avoir accepté d'être examinateur et examinatrice de cette thèse.

Un grand merci à **Abdelrhani**, qui a su m'aiguiller lors de ma thèse sur la programmation logicielle, et d'avoir partagé ses connaissances en neuroimagerie.

Je tiens à remercier l'ensemble des membres du **CeRCA**, et plus particulièrement **Hélène** et **Sarah** pour leur bonne humeur constante et l'aide qu'elles ont pu m'apporter tout au long de ma thèse. Je les remercie aussi de leur soutien, notamment lorsque je me suis retrouvé loin de la France (et merci pour la peluche). Merci à **Jean, Didier, Yves** et **Benjamin** pour les connaissances qu'ils ont su me partager mais surtout leur réactivité lors des différents travaux de cette thèse. Je remercie également l'ensemble des acteurs de la **MSHS**.

Également un très grand merci à **Marie-Amélie Martinie** et **Cyril Perret** pour leur encadrement lors de mes mémoires de Master 1 et 2. C'est au près d'eux que j'ai pu mettre un

premier pied dans la recherche et commencer à devenir un scientifique qui produit de la connaissance. Ils m'ont tous les deux apporté beaucoup, tant sur le plan théorique que méthodologique et statistique.

Un énorme merci à l'ensemble des doctorants. Ils ont tous de près ou de loin participé à l'élaboration de ce travail, que ce soit en me soutenant ou en échangeant sur les théories. Je tiens à remercier plus particulièrement **Jean**, avec qui j'ai pu avoir des échanges sur la méta-science et des débats sur le fréquentisme et le bayésianisme et avec qui je partage une chaîne YouTube. Je remercie **Manon**, pour son soutien lors des épreuves difficiles, ta bienveillance, ainsi que pour les discussions intéressantes que nous avons eues sur tant de domaine. Je remercie également **Jeremy, Margaux, Romain, Caroline, Julie** et **Yann** pour les après midi jeux et les soirées détentes autours d'un verre. Se fut un grand réconfort systématique. Merci à **Emilie**, ma partenaire de bureau, qui a su m'encourager et avec qui j'ai pu avoir beaucoup de discussions passionnantes. Je remercie aussi **Ilona** pour les rigolades et délires que l'on a pu partager. Je la remercie aussi pour ses conseils cinématographiques. Toujours de bonne humeur, toujours présente.

Je remercie aussi **Kathleen** (Balounette) pour le soutien émotionnel, que ça soit avant la thèse ou pendant. Nous avons commencé ensemble, nous finirons ensemble !

Plus récemment, j'ai pu me faire de nouveaux ami·es sur le Discord des doctorants de France. Je tiens à les remercier, et tout particulièrement le « Rush final » avec **Isa** et **Mumu** pour le soutien lors de ces longues journées et soirées de travail (et encore au moment où j'écris ces lignes).

Un très grand merci à **Sarah** (super héroïne ANOVA), pour les blagues quasi quotidiennes (pas toujours très drôles, mais qui donnent toujours au moins un petit sourire), ainsi que pour les cookies et les crêpes !

Je tiens à dire un grand merci à toute **mon équipe de MMA YOFOX** et plus particulièrement **Yohann** mon coach ainsi qu'à **Henri** mon ami et partenaire d'entraînement. Grace à eux j'ai pu me défouler et m'évader tout au long du doctorat.

Je souhaite aussi remercier sincèrement **梦莹 (Mèngyíng)** qui m'a permis, à travers les cours de chinois que j'ai suivis cette dernière année, d'avoir des moments de découvertes et d'évasions autour d'un pays, d'une langue et d'une culture que je ne connaissais pas. Ces moments d'évasion me permettaient de me recentrer sur la thèse par la suite.

Un très grand merci à **Christophe Charpateau** pour m'avoir fait découvrir la psychologie lorsque j'étais encore un profane sur le sujet. Ses conseils et les lectures qu'il m'a proposés ont été un premier élan vers la recherche.

Un immense merci à tous mes ami·es que j'ai rencontrés lors de mon cursus de psychologie. Je pense à **Anne (Jonjon)**, **Elodie** et **Céline**, ainsi que **Rémi** et **Sofiane**. Vous voir est toujours une bouffée d'air frais et un bon moment, sans jamais se prendre la tête.

Un immense merci à **Antoine** pour sa bonne humeur et surtout sa répartie inégalable ; si ce n'est peut-être par **Ruddy** que je remercie aussi énormément. Il m'a soutenu depuis notre Erasmus commun, à travers les galères et les réussites. Il a toujours su être présent, trouver les mots justes. Un immense merci à **Medhi**, pour le soutien inconditionnel depuis toutes ces années. Que ça soit en colocation, en cours, en co-bureau, dans des concerts ou autour d'un verre nos discussions ont toujours été passionnées et passionnantes. Merci à vous trois, mes petits fantastiques...

Un grand merci à **Rita**, qui m'a été un très grand support dans les moments difficiles de la rédaction. Ses mots et gestes tendres ont toujours su m'apaiser, ce qui me permettait de rester concentrer.

Pour finir, je tiens à remercier du fond du cœur ma famille. Tout d'abord ma sœur **Marion (Mion)**. Son cursus scientifique a été un modèle pour moi. Elle a toujours été présente. **Papa** et **Maman**, Merci pour le soutien sans faille depuis maintenant 32 ans. Merci d'avoir cru en moi tout ce temps, merci d'avoir toujours été là pour m'épauler, de m'avoir laisser choisir ma vie comme je l'entendais. J'ai toujours pu m'épanouir sans jamais manquer de rien. Je n'aurai pas pu rêver de meilleures conditions pour grandir et me développer. C'est grâce à votre amour et votre soutien inconditionnels que je suis devenu l'homme heureux qui a accompli cette thèse.

# TABLE DES MATIÈRES

---

|  |    |
|--|----|
| PRÉAMBULE.....   | 1  |
| CADRE THÉORIQUE GÉNÉRAL.....   | 3  |
| <b>1.1. L’autocontrôle dans la vie quotidienne</b> .....   | 4  |
| <b>1.2. Points communs et différences entre l’autocontrôle, l’auto-régulation et l’effort mental</b> ..... | 7  |
| 1.2.1. Autocontrôle et autorégulation .....  | 7  |
| 1.2.3. Autocontrôle et effort mental .....   | 9  |
| <b>1.3. Le modèle de la force de l’autocontrôle</b> .....  | 10 |
| 1.3.1. Définition de l’épuisement du soi.....  | 10 |
| 1.3.2. Les premiers pas de l’effet d’épuisement du soi.....  | 11 |
| <b>1.4. Deux principaux débats autour de l’effet d’épuisement du soi</b> .....                             | 20 |
| 1.4.1. Les débats sur le mécanisme .....   | 20 |
| 1.4.2. Les débats sur l’existence de l’effet .....   | 26 |
| 1.4.3. Conclusion sur les débats.....  | 32 |
| <b>1.5. Et si l’effet d’épuisement ne disparaissait pas en 2021</b> .....                                  | 32 |
| 1.5.1. La motivation.....  | 32 |
| 1.5.2. La durée de la tâche .....  | 34 |
| 1.5.3. La difficulté de la tâche.....  | 37 |
| <b>1.6. Trois modérateurs et un médiateur de l’effet d’épuisement du soi</b> .....                         | 39 |
| 1.6.1. Le trait d’autocontrôle.....  | 40 |
| 1.6.2. La conception expérimentale.....  | 42 |
| 1.6.3. La douleur ressentie .....  | 44 |
| 1.6.4. La perception de l’effort .....   | 45 |
| <b>1.7. Conclusion générale : l’effet existe mais est mal défini</b> .....                                 | 47 |

|  |           |
|--|-----------|
| 1.8. Objectifs de la thèse .....   | 47        |
| <b>ÉTUDES EXPÉRIMENTALES</b> .....   | <b>49</b> |
| 2.1. Manipulation pré-expérimentale.....   | 50        |
| 2.2. Méthodologie générale .....   | 51        |
| 2.2.1. Protocole général .....   | 51        |
| 2.2.2. Tâches mentales.....  | 53        |
| 2.2.3. Tâches de serrage de la poignée dynamométrique.....                                       | 55        |
| 2.2.4. Questionnaires et échelles .....  | 59        |
| 2.2.5. Critères d'exclusion.....   | 62        |
| 2.2.6. Analyses statistiques.....  | 62        |
| 2.3. Etude 1 .....   | 63        |
| 2.3.1. Introduction .....  | 63        |
| 2.3.2. Méthode.....  | 64        |
| 2.3.3. Résultats .....   | 66        |
| 2.3.4. Discussion.....   | 75        |
| 2.4. Etude 2, comparaison de tâche contrôle .....  | 78        |
| 2.4.1. Introduction .....  | 78        |
| 2.4.2. Méthode.....  | 78        |
| 2.4.3. Résultats .....   | 79        |
| 2.4.4. Discussion.....   | 82        |
| 2.5. Etude 3.....  | 83        |
| 2.5.1. Introduction .....  | 83        |
| 2.5.2. Méthode.....  | 83        |
| 2.5.3. Résultats .....   | 84        |
| 2.5.4. Discussion.....   | 95        |
| 2.6. Etude 4, variation de la durée de la tâche, fréquence cardiaque et ondes<br>cérébrales..... | 99        |

|   |     |
|---|-----|
| 2.6.1. Introduction .....                             | 99  |
| 2.6.2. Méthode .....                                  | 102 |
| 2.6.3. Résultats .....                                | 104 |
| 2.6.4. Discussion .....                               | 112 |
| DISCUSSION GÉNÉRALE .....                             | 116 |
| 3.1. Réplication de l'effet d'épuisement du soi ..... | 117 |
| 3.2. L'ennui, une variable d'importance .....         | 120 |
| 3.3. La motivation .....                              | 127 |
| 3.4. La durée de la tâche .....                       | 130 |
| 3.5. Apport théorique et implications pratiques ..... | 130 |
| 3.6. Limites des études .....                         | 132 |
| 3.7. Perspectives .....                               | 135 |
| 3.7.1. Aller plus loin .....                          | 135 |
| 3.7.2. Tester les modèles .....                       | 137 |
| 3.8. Conclusion générale .....                        | 138 |
| BIBLIOGRAPHIE .....                                   | 139 |
| ANNEXES .....   | 166 |

# PRÉAMBULE

---

Depuis que je suis (très) jeune, j'ai toujours été passionné par la science. Dans mon enfance ce fut l'astronomie, puis à l'adolescence la physique et la biologie. Après mon baccalauréat, je me suis intéressé à la psychologie, discipline qui n'est malheureusement pas enseignée au lycée. J'ai découvert ce champ scientifique dans un premier temps à travers la série « Lie to me ». Dans cette série, il était question des émotions. Elle s'inspirait des travaux de Paul Ekman, grand spécialiste des émotions et tout particulièrement des émotions primaires (Ekman et al., 1969). Cela m'a donné envie de me plonger un peu plus dans cette discipline qui m'était alors largement inconnue. J'ai eu la chance de pouvoir rencontrer un psychologue du travail, qui m'a expliqué la psychologie comme une science, son métier, et qui m'a donné des références pour aller plus loin. L'une d'entre elles était « Petit traité de manipulation à l'usage des honnêtes gens » (Joule & Beauvois, 2004). Ce livre fut une révélation pour moi, et m'a donné envie de continuer mes études dans ce domaine. C'est comme cela que je suis arrivé à l'Université de Poitiers. Lors de mes premiers cours de psychologie sociale, au premier semestre de licence 1 avec Marie-Amélie Martinie, j'ai pu découvrir la soumission à l'autorité (Milgram, 1964), l'adhésion aux rôles (Zimbardo et al., 1971), ou encore le conformisme à la majorité (Asch & Guetzkow, 1951) et bien d'autres phénomènes de psychologie sociale. Cela m'a donné envie de faire de la recherche pour travailler sur ce type de sujet. Lors de mon Master 1 et 2, j'ai réalisé un mémoire de recherche sur le paradigme du libre choix dans le cadre de la dissonance cognitive. Cela a renforcé mon envie de continuer en recherche par la suite. Enfin, lors de mon Master 2, deux Professeurs différents, Armand Chatard et Michel Audiffren, m'ont présenté des travaux sur l'épuisement du soi. Le premier avec une approche de psychologie sociale, le second plutôt orienté science de l'exercice. J'ai trouvé ce domaine de recherche particulièrement passionnant, notamment car j'ai pu entrevoir la crise de la réplication qui touche la psychologie sociale au travers de ce domaine. J'aime beaucoup participer au débat, pouvoir confronter les idées. Ainsi, avoir l'opportunité de participer à un domaine de recherche animé par des débats a été pour moi un attrait supplémentaire à ce domaine de recherche. Dans le même temps, j'ai toujours été sportif et désireux de comprendre comment avoir de meilleures performances et l'approche de Michel Audiffren m'a particulièrement séduit. Ainsi, à la fin d'un cours de Master 2 donné par Michel Audiffren, je suis allé le voir pour lui dire que j'étais fortement intéressé pour réaliser une thèse sous sa direction. Il m'a proposé une rencontre avec Nathalie André, maître de conférences à l'Université de Poitiers, spécialisée en psychologie

sociale et psychologie de l'exercice et de la motivation, afin de pouvoir discuter plus en profondeur d'un sujet de doctorat. Le sujet proposé était donc celui de la thèse que vous allez lire dans les prochaines pages. Lors de celle-ci j'ai eu l'occasion de lire l'article de Vadillo (2019) intitulé « L'épuisement du soi pourrait disparaître en 2020 » (« Ego depletion may disappear by 2020 »). Dans cet article, l'auteur a notamment réalisé une série de régression de la taille d'effet observée dans les études en fonction de l'année de publication. Ces régressions passaient par une taille d'effet égale à 0 aux alentours de 2020, ce qui a donné ce titre provocateur auquel j'ai eu envi de répondre. Ceci a donc donné le titre de ma thèse. C'est ainsi que commence cette aventure.

# CADRE THÉORIQUE GÉNÉRAL

## 1.1. L'autocontrôle dans la vie quotidienne

L'impact de l'autocontrôle, également traduit par contrôle de soi, sur les individus n'est pas une question nouvelle puisque dès 1900, Inazô Nitobe a écrit dans le « Bushidô » (qui peut se traduire par « la voie des samouraïs ») un chapitre (le 11) portant sur « La maîtrise de Soi ». Dans ce chapitre il a écrit : « *J'ai tendance à penser qu'en un sens, nous ressentons plus que les autres – deux fois plus -, puisque nos efforts pour réfréner nos sentiments naturels nous imposent une souffrance supplémentaire. Imaginez de jeunes garçons – ou de jeunes filles – élevés dans l'habitude de retenir les larmes et d'étouffer les sanglots qui soulageraient leur peine. Le problème qui se pose est de nature physiologique : de tels efforts les rendent-ils plus durs ou plus sensibles ?* » p.54. (Nitobe, 1900).

Des études (beaucoup) plus récentes montrent que dans l'ensemble de la population, deux types de croyances envers le contrôle de soi peuvent être identifiés. Bien que cela puisse être représenté par une variable continue, une partie de la population aura tendance à penser que le contrôle de soi l'épuise et qu'elle aura besoin de temps pour récupérer par la suite. L'autre partie de la population aura plutôt tendance à penser que le contrôle de soi n'a pas de limite et que l'on peut donc l'utiliser à l'infini (Job et al., 2010). Les individus avec une théorie de l'autocontrôle illimité réussissent mieux à se contrôler au quotidien que ceux ayant une théorie de l'autocontrôle limité. Cela peut s'expliquer par le fait que ces derniers vont considérer qu'ils ont épuisé leurs ressources / capacité à se contrôler bien avant qu'un effet réel d'épuisement puisse avoir lieu et vont donc mettre en place des comportements associés à cet « épuisement » (Job et al., 2010; étude 4). Ils vont par exemple être plus enclins à procrastiner et à manger de manière non saine la semaine précédant les partiels ou encore avoir de moins bonnes notes que les individus avec une théorie de l'autocontrôle illimité (Job, Walton, et al., 2015).

Un autre exemple montre toute l'importance de l'autocontrôle. Le test du chamallow (Mischel et al., 1972; Mischel & Ebbesen, 1970) est un test bien connu chez les enfants comme indicateur de leur autocontrôle (Milyavskaya & Inzlicht, 2017). Dans ce test, l'enfant doit résister à manger un chamallow. L'expérimentateur indique à l'enfant que s'il ne mange pas le chamallow avant son retour, alors il en aura un deuxième. Puis l'expérimentateur sort de la pièce pendant environ 20 minutes. La capacité de l'enfant à résister à la tentation de manger un chamallow avant le retour de l'expérimentateur serait un indicateur de son autocontrôle trait. Le test du chamallow serait d'ailleurs un indicateur clef de réussite sur le long terme (Mischel et al., 1989; Mischel et al., 1972; Schlam et al., 2013). De plus, avoir un bon autocontrôle à

l'âge adulte est lié à un IMC plus faible (Schlam et al., 2013), une meilleure santé, un plus haut revenu, moins de crime et de dépendance à des substances (Moffitt et al., 2011), moins d'expression de violence (DeWall et al., 2007, 2011), de meilleurs résultats scolaires, moins de consommations compulsives d'alcool ou de nourriture (« binge drinking / eating »), de meilleurs ajustements psychologiques (e.g., TOC, dépression, anxiété, colère), une meilleure estime de soi, de meilleure relation avec autrui et sa famille et un attachement plus sécuritaire (Tangney et al., 2004).

Inversement, un épuisement de ces capacités d'autocontrôle dans la vie courante conduit à des comportements socialement moins acceptés tels qu'une plus grande expression de discrimination raciale (Muraven, 2008), plus de violence (Stucke & Baumeister, 2006), plus d'expression et d'action agressive envers une personne qui nous a agressés préalablement (DeWall et al., 2007), plus de risque pris lors de jeux d'argent (Freeman & Muraven, 2010), plus d'alcool consommé dans une situation où il faudrait l'éviter (e.g. conduire sur simulateur<sup>1</sup>) (Muraven et al., 2002) et plus d'idée d'infidélité (Gailliot & Baumeister, 2007). Cela amène aussi les individus à mentir et tricher davantage (Mead et al., 2009; Muraven, Pogarsky, et al., 2006) et de manière générale à des comportements non éthiques ainsi qu'une réduction de l'« identité morale » (i.e. représentation qu'un individu possède de lui comme étant une personne plus ou moins morale et qui est une part importante de l'identité personnelle) (Wang et al., 2017). Être dans un état d'épuisement du contrôle de soi amène également à de moins bonnes capacités à planifier notre avenir (Sjåstad & Baumeister, 2018). Une autre facette de la vie quotidienne qui est entachée par l'épuisement du contrôle de soi est la gestion de la présentation de soi<sup>2</sup>. Ainsi, les individus épuisés ont tendance à moins bien se présenter en parlant trop, en étant trop intimes, à montrer trop d'arrogance dans des moments où il ne faudrait pas (Vohs et al., 2005).

Enfin, pour les plus sportifs des lecteurs, l'état d'épuisement du soi diminue la performance physique et augmente la perception de la douleur (Pageaux & Lepers, 2018; Silvestrini & Rainville, 2013; Van Cutsem et al., 2017). Par exemple, l'arrêt prématuré d'une tâche dans un état d'épuisement serait en partie dû à la douleur ressentie pendant un effort physique (Boat & Taylor, 2017). Ou encore, l'épuisement du soi provoque une baisse de performances lors d'activités physiques dans de nombreux sports tels que le cyclisme, la course

---

<sup>1</sup> Les auteurs n'ont heureusement pas laissé réellement conduire des participants alcoolisés.

<sup>2</sup> Note à moi-même : se préserver de toute activité qui pourrait me mettre dans un état d'épuisement du soi pour le jour de la soutenance.

à pied, le lancer de fléchettes, le basketball, l'athlétisme, ou encore la musculation (Dorris et al., 2012; Englert et al., 2015; Englert & Bertrams, 2012, 2014; Furley et al., 2013; Head et al., 2016; Veness et al., 2017; Yang et al., 2019).

De plus, un nombre important d'études montre que les actes de la vie quotidienne peuvent également épuiser. Par exemple, converser avec une personne que l'on n'apprécie guère (en comparaison à l'ignorer) (Sommer & Yoon, 2013) ou prendre des décisions (Moller et al., 2006; Vohs et al., 2008) conduiraient à un état d'épuisement. Cependant, des choix trop simples n'épuiseront pas (e.g., manger des pâtes ou du riz le midi). En revanche, si l'attente ou la complexité de ces choix est importante (e.g., investir plusieurs millions d'euros entre deux possibilités), alors même peu de choix réalisés peut épuiser. Plus les choix sont importants, et plus nous épuiserons nos capacités de contrôle (Vohs et al., 2008). Les pensées intrusives (Yam, 2018), les regrets (Gao et al., 2014) amèneraient également au même résultat. Enfin, plusieurs autres activités de la vie courante telles que prévoir ou planifier (Sjåstad & Baumeister, 2018), percevoir de l'alcool lorsque l'on est un ancien dépendant à l'alcool (Gauggel et al., 2010), se présenter dans un cadre qui n'est pas habituel (e.g., devant un jury de thèse), parler de politique raciale ou environnementale (Vohs et al., 2005), ou encore subir le racisme ou le sexisme (Inzlicht et al., 2006) épuisent les individus. On se rend alors compte que le sujet de l'épuisement du contrôle de soi devient primordial pour la vie en société.

### Objectif principal

Nous avons vu que l'autocontrôle et son épuisement pouvaient avoir des conséquences importantes pour le quotidien des individus. Il est donc intéressant d'étudier ce phénomène. Cependant, des débats autour de l'épuisement du contrôle de soi grondent depuis maintenant une décennie allant jusqu'à remettre en question l'existence du phénomène alors même que plusieurs centaines d'études l'ont démontré. Parce que les preuves existantes dans le domaine de la psychologie sociale et de la psychologie de l'exercice sont, selon nous, indéniables, l'objectif de cette thèse porte sur l'importance des aspects définitionnels et méthodologiques dans la mise en évidence des conditions nécessaires à l'apparition de l'effet.

## **1.2. Points communs et différences entre l’autocontrôle, l’autorégulation et l’effort mental**

Dans la littérature sur l’épuisement du soi, il est courant de trouver des similitudes entre les concepts d’autocontrôle et d’autorégulation, mais aussi d’autocontrôle et d’effort mental. L’autocontrôle est par ailleurs parfois appelé « autorégulation », « autodiscipline », « volonté », « contrôle demandant », « force du soi » ou encore « contrôle inhibiteur »<sup>3</sup> (Duckworth & Kern, 2011). L’objectif de cette partie est de clarifier et de distinguer les trois concepts.

### **1.2.1. Autocontrôle et autorégulation**

#### *L’autocontrôle*

Dans la littérature sur l’épuisement du soi, l’autocontrôle et l’autorégulation sont régulièrement utilisés de manière interchangeable. Cependant il est possible de dégager des différences entre les deux. Notamment l’autocontrôle serait plus proche du concept d’inhibition de la psychologie cognitive.

Il existe une grande diversité de définitions de l’autocontrôle (e.g., Baumeister et al., 2007; Beurms & Miller, 2016; Muraven & Baumeister, 2000; Ridder et al., 2012; Tuk et al., 2015). Cependant, certains points sont communs à la majorité des définitions. Pour Baumeister et ses collègues (2007), l’autocontrôle est « la capacité de modifier ses propres réponses, notamment pour les mettre en phase avec des standards tels que des idéaux, des valeurs, des codes moraux et des attentes sociales, afin de suivre un objectif à long terme ». Cela signifie que l’individu doit modifier ou réprimer ses pulsions ou envies immédiates afin d’atteindre un objectif à long terme et qui permet dans le même temps de vivre en société. Une définition générale, mais ne permettant pas d’explicitier toutes les subtilités serait que « l’autocontrôle est un effort de contrôle sur le « soi » par le soi » (Muraven & Baumeister, 2000). Ces auteurs précisent que l’autocontrôle se produit quand une personne essaie de changer la manière dont elle pense, ressent ou se comporte de manière automatique. Les individus utilisent l’autocontrôle quand ils suivent des règles ou inhibent de manière immédiate un désir afin de différer une récompense. Ainsi, l’inhibition est un point central commun à l’ensemble des définitions. De plus, les

---

<sup>3</sup> “Self-regulation”, “self-discipline”, “willpower”, “effortful control”, “ego strength”, “inhibitory control”, respectivement.

fonctions exécutives dont l'inhibition est la principale seraient reliées aux capacités d'autocontrôle (Baumeister, 2014; Hofmann et al., 2012). Baumeister et al. (1994) estiment par ailleurs que 80 à 90% de l'autocontrôle réalisé au quotidien consiste à inhiber une réponse. Ainsi, un comportement complexe tel que résoudre des problèmes mathématiques, peut être difficile et demander de l'effort, mais ne fait pas ou peu intervenir l'autocontrôle, car n'engage que peu l'inhibition. Il semble donc, à travers les définitions, que l'autocontrôle soit principalement de l'inhibition, du contrôle que l'on exerce sur une réponse dominante afin de répondre à un objectif valorisé. Par exemple, lorsqu'un individu doit finir de rédiger son paragraphe de thèse (objectif valorisé), il va devoir utiliser son autocontrôle afin de ne pas utiliser son smartphone qui est pourtant sous ses yeux (réponse dominante due à son addiction au smartphone).

### L'autorégulation

Il est possible de trouver différentes définitions de l'autorégulation. Une première définition indique que « l'autorégulation est une action, une pensée, en sentiment volontairement dirigé vers un objectif » (Carver & Scheier, 2011). Autoréguler nécessite donc un objectif, une intention vers un objectif à plus ou moins long terme. Karoly (1993) propose 5 phases successives à l'autorégulation : 1) le choix d'un objectif, 2) la cognition de l'objectif (les schémas d'actions ou modèles mentaux pour réaliser l'objectif), 3) le maintien de la direction, 4) le changement de direction ou de priorisation et 5) l'atteinte de l'objectif. Karoly ajoute ici l'idée de motivation dans l'atteinte de l'objectif. Plusieurs autres définitions se rapprochent plus d'un processus conscient, volontaire et requérant de l'effort. Ainsi, « l'autorégulation est généralement considérée comme un effort produit par un individu pour modifier sa propre réponse » (Seeley & Gardner, 2003). Les auteurs précisent que contrairement à beaucoup de comportements, celui-ci n'est pas automatique. Dans la même veine, il est possible de trouver que « l'autorégulation est le fait de résister ou de modifier une réponse afin de correspondre à des normes ou des réponses souhaitables » (Baumeister, 2014) ou encore « l'autorégulation est le processus par lequel le soi change ses pensées, émotions et actions, qui inclut les pulsions et la performance dans la tâche » (Baumeister et al., 2018). Enfin, il est possible de trouver « l'autorégulation (aussi appelée autocontrôle) est une capacité interne des individus qui leur permet de résister à la tentation et de maintenir à distance leurs pulsions » (DeWall et al., 2007). Dans ces définitions, les auteurs suggèrent que les concepts d'autorégulation et d'autocontrôle sont interchangeables. Cependant, lorsque la distinction est faite entre les deux concepts, alors l'autocontrôle est considéré comme délibéré, conscient et

demandant de l'effort. L'autocontrôle est alors une composante de l'autorégulation. Donc, l'autorégulation n'est pas nécessairement délibérée ou consciente, mais lorsque c'est le cas il faut intervenir l'autocontrôle (Baumeister et al., 2007). En suivant cette distinction, arrêter de fumer serait un objectif d'autorégulation qui va solliciter l'autocontrôle uniquement lorsque le fumeur se retrouvera dans la situation où l'objectif à long terme entre en conflit avec une envie immédiate de fumer une cigarette (Berkman et al., 2016). Selon ces derniers auteurs, il est donc possible d'atteindre un objectif à long terme d'autorégulation sans avoir à solliciter l'autocontrôle si les situations conflictuelles sont anticipées et évitées. Ainsi, même l'homéostasie entre donc bien dans le cadre de cette définition faisant partie des processus automatiques. Dans ce document autocontrôle et autorégulation seront distingués.

### **1.2.3. Autocontrôle et effort mental**

La distinction entre l'autocontrôle et l'effort mental ne semble pas toujours claire dans la littérature. Cependant il semble important de faire la distinction entre les deux concepts puisque l'effort mental n'est pas nécessairement de l'autocontrôle, alors que l'autocontrôle fait systématiquement intervenir l'effort mental.

L'effort est défini comme « la mobilisation de ressources afin de réaliser un comportement ayant un objectif » (Gendolla & Richter, 2010). Les auteurs précisent que l'effort renvoie à la motivation et tout particulièrement à son intensité. D'autres auteurs proposent que la perception de l'effort provienne de trois catégories : d'un contrôle physique, de la concentration mentale ou du contrôle de soi (self restrain ; Preston & Wegner, 2009). Selon ces auteurs, la perception d'effort serait présente lors d'acte d'autocontrôle. Les auteurs précisent cependant que peu importe où est produit l'effort, la perception de l'effort est caractérisée par une sensation cognitive d'énergie dépensée dans une tâche, que cette énergie soit par ailleurs musculaire ou cognitive. Ceci est cohérent avec le fait que l'autocontrôle est un processus contrôlé et par conséquent coûteux (Bargh, 1994). Ainsi, l'effort mental intervient dans de très nombreuses tâches de la vie courante (e.g., résoudre un problème de mathématiques), mais reste indépendant de l'autocontrôle qui n'est pas forcément sollicité dans ces mêmes tâches. Cependant, lorsque l'autocontrôle est sollicité, alors il ferait systématiquement intervenir l'effort mental (Lindner et al., 2018).

### **1.3. Le modèle de la force de l’autocontrôle**

Le modèle de la force de l’autocontrôle a été proposé par Baumeister et ses collègues en 1998 après avoir réalisé une série d’expériences sur l’épuisement du soi. Dans ces expériences, ils ont remarqué qu’à la suite d’une tâche mentale sollicitant l’autocontrôle, les participants avaient une baisse de performance dans la tâche suivante. Dans cette partie, nous allons essayer de comprendre quelle est cette baisse de performance, puis montrer en quoi le modèle de la force de l’autocontrôle est un modèle heuristique.

#### **1.3.1. Définition de l’épuisement du soi**

Baumeister et al. (1998) définissent l’épuisement du soi<sup>4</sup> (ou épuisement du contrôle de soi) comme « la réduction de la capacité ou de la volonté du soi à s’engager dans une action volontaire causée par un précédent exercice de la volonté ». De manière très similaire, Dang et al. (2017) considèrent que l’épuisement du soi « fait référence à un phénomène selon lequel un effort initial d’autocontrôle altère les performances d’autocontrôle ultérieures ». Cependant, d’autres définitions font appel à des capacités ou ressources d’autocontrôle limitées qui seraient épuisées à la suite d’une première action d’autocontrôle, ce qui se traduit par une difficulté à exercer de nouveaux efforts d’autocontrôle. Ces définitions font appel à l’idée de ressources limitées qui seraient diminuées à la suite d’actes d’autocontrôle. Toutefois, l’idée de ressource n’est pas nécessairement admise par tous et certains auteurs lui préfèrent le terme « d’after-effects » (Silvestrini et al., 2019; Silvestrini & Rainville, 2013). Aujourd’hui, c’est principalement le terme « épuisement du soi » qui est utilisé, même s’il ne renvoie pas uniquement à une ressource, mais également à un changement dans la motivation des individus à faire une tâche (cf. section 1.4.1.1 sur le modèle de processus d’épuisement du soi). Il est aussi possible de trouver dans la littérature – et plus particulièrement dans la littérature associée à la psychologie de l’exercice – le terme de fatigue mentale. Ce terme ne renvoie pas non plus à une ressource qui s’épuise. Boksem et Tops (2008) définissent la fatigue mentale comme « un sentiment que les personnes peuvent ressentir pendant ou après une période prolongée d’activité cognitive » (p. 126). Ils précisent que « ce phénomène est courant dans la vie quotidienne et se traduit par de la fatigue ou de l’épuisement ainsi qu’une aversion à continuer la tâche en cours ou à venir ». Cette définition reflète celle de l’épuisement du soi, hormis qu’il n’est pas fait mention directement de contrôle de soi.

---

<sup>4</sup> “Ego-depletion” en anglais

En somme, l'épuisement du soi fait référence à la baisse de performance que l'on peut observer dans une tâche sollicitant l'autocontrôle après avoir au préalable sollicité l'autocontrôle. A l'origine, cette baisse de performance est vue comme une diminution des ressources de contrôle de soi, mais cette conception en ressource est remise en question par certains auteurs.

### **1.3.2. Les premiers pas de l'effet d'épuisement du soi**

L'effet d'épuisement du soi a été mis en évidence dans le cadre du protocole des tâches séquentielles. Un modèle explicatif a été proposé sur cet effet. C'est le modèle de la force de l'autocontrôle, que nous allons présenter maintenant.

#### **1.3.2.1. La première version du modèle**

En 1998 Roy Baumeister, Ellen Bratslavsky, Mark Muraven et Dianne Tice proposent une série de 4 expériences qui donneront par la suite deux décennies de recherche dans un des champs les plus prolifiques de la psychologie sociale : l'épuisement du soi. Dans leur première expérience, probablement la plus connue, les participants du groupe expérimental devaient résister à un plat de cookies sortant tout juste du four (et par conséquent une odeur agréable de cookies et de chocolat chaud embaumant toute la pièce) et manger des radis. Ensuite, les participants devaient essayer de résoudre deux puzzles (i.e., des formes géométriques dessinées que le participant devait reproduire sans lever le stylo ni repasser deux fois sur la même ligne) insolubles. Les résultats ont montré que les participants dans la condition expérimentale (i.e., manger des radis) persistaient en moyenne 8,35 minutes sur les puzzles, alors que les participants qui pouvaient manger les cookies ont persévéré en moyenne 18,90 minutes. Enfin, les participants qui n'avaient pas de tâche de nourriture et qui ont réalisé directement la tâche de puzzles (i.e., un autre groupe contrôle) ont persisté pendant 20,86 minutes. Ainsi, les participants qui ont été amenés à se contrôler ont tenu 2,2 fois moins de temps que les deux autres groupes.

Ces études de Baumeister et al. (1998) ont utilisé le paradigme des tâches séquentielles. Dans ce paradigme, les participants réalisent une première tâche (tâche d'épuisement) dans laquelle ils sont répartis au hasard soit dans le groupe expérimental et doivent se contrôler, soit dans le groupe contrôle et n'ont pas à exercer de contrôle de soi (Figure 1). Ainsi, les participants du premier groupe vont fortement solliciter leur capacité d'autocontrôle, ce qui va

les amener à avoir une réduction de la disponibilité de celles-ci afin de réaliser la seconde tâche (tâche dépendante). En revanche, cette réduction des capacités ne sera pas présente dans le groupe contrôle. À la suite de cette première tâche, les participants doivent réaliser la tâche dépendante dans laquelle les deux groupes sont amenés à utiliser leurs capacités d’autocontrôle. Ainsi, les participants du groupe expérimental, qui ont déjà sollicité leurs capacités, sont moins performants dans la seconde tâche comparativement aux participants du groupe contrôle puisque leurs capacités sont déjà partiellement épuisées. Par exemple, la première tâche consiste à regarder une vidéo ayant une valence émotionnelle. Il sera demandé aux participants du groupe expérimental de ne pas exprimer d’émotion en regardant la vidéo ce qui les amènera à utiliser leurs capacités d’autocontrôle. En revanche, le groupe contrôle ne recevra pas de consigne, pourra réagir librement lors du visionnage et par conséquent ne sera pas amené à se contrôler. Ainsi, lors du début de la seconde tâche, les participants du groupe expérimental auront moins de capacités de contrôle disponibles que les participants du groupe contrôle. Cela se traduira par une baisse de performance du groupe expérimental (vs. le groupe contrôle) dans cette seconde tâche.

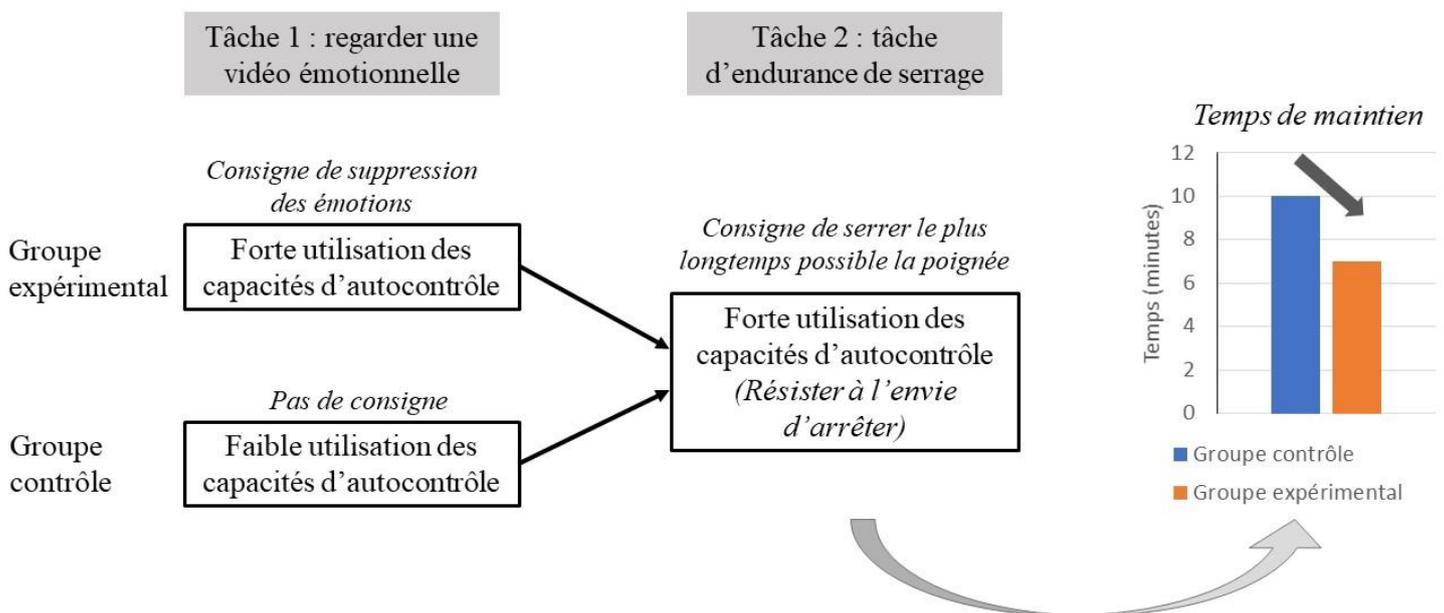


Figure 1. Le protocole des tâches séquentielles. Les deux groupes ne vont pas avoir la même utilisation des capacités d’autocontrôle dans la première tâche, ce qui va se traduire par une performance différente dans la seconde tâche.

Dans un deuxième article publié la même année (Muraven et al., 1998), les auteurs explorent dans 4 nouvelles expériences d’autres domaines dans lesquels s’applique ce phénomène de baisse de performance (i.e., émotion, pensée, tâche physique). Dans la première

expérience, les participants devaient regarder une vidéo ayant une valence émotionnelle avec pour consigne soit de résister à l'émotion ressentie, soit à se laisser porter par les émotions. Après cette tâche, les participants devaient serrer une poignée de serrage manuel le plus longtemps possible. Les résultats ont indiqué que les participants ayant régulé leurs émotions (à la hausse ou à la baisse) maintenaient la poignée moins longtemps que les participants du groupe sans régulation émotionnelle. Dans la deuxième étude, les participants devaient réguler leur pensée. À la suite de cette première tâche, les participants devaient résoudre des anagrammes insolubles. Les participants de la condition « suppression de pensées » persistaient moins longtemps dans la tâche d'anagramme que les participants des deux autres groupes. Dans la troisième étude, les participants devaient soit résoudre des problèmes de mathématiques soit ne pas penser à un ours blanc. Les deux tâches ont été évaluées comme aussi difficiles l'une que l'autre, mais lors de la résolution de problèmes mathématiques pas ou peu d'autocontrôle était sollicité. À la suite, les participants regardaient une vidéo humoristique et la consigne était de contrôler au maximum leurs émotions. Les résultats ont montré que les participants de la condition « suppression de pensées » ont plus de difficulté à contrôler leurs émotions. En effet, ils vont produire plus de sourires et de rires et de manière générale vont reporter s'amuser davantage. Cette étude montre que c'est bien la sollicitation de l'autocontrôle et non la difficulté de la tâche qui explique la baisse de performance. Enfin, dans une quatrième étude, les participants devaient décrire deux souvenirs. Un souvenir dans lequel ils réussissaient une action demandant de l'autocontrôle et un dans lequel ils échouaient. Lors du rappel de ces souvenirs, les participants devaient décrire les conditions dans lesquelles ils étaient lorsque ces souvenirs se sont produits, ainsi que les conséquences de la réussite ou de l'échec de l'autocontrôle. Les résultats indiquent que lorsqu'ils rappellent un souvenir concernant un échec d'autocontrôle, les participants rapportent qu'ils avaient investi moins d'effort pour produire l'action, mais aussi qu'ils étaient plus souvent sous l'emprise de l'alcool et avoir été moins calmes et plus stressés.

Il est à noter que certaines études vont dans le sens inverse concernant le contrôle des pensées. Il a été montré qu'une session de méditation ou de prière entre la tâche d'épuisement et la tâche dépendante permet d'éviter l'effet d'épuisement (Frieze et al., 2012, 2014; Yusainy & Lawrence, 2015). Pourtant la méditation et la prière (forme de méditation qui ne serait pas centrée sur soi) consistent à se concentrer sur un objet (la respiration, un dieu, etc.) et à chasser les pensées intrusives. Ainsi, la méditation, en exerçant un contrôle sur les pensées intrusives, devrait augmenter l'épuisement du soi et non l'annuler.

Muraven et ses collègues (1998) ont tiré plusieurs conclusions de cette série d'études. La première est que se contrôler dans une sphère semble épuiser le contrôle que l'on peut exercer dans d'autres sphères. Selon eux, cela suggère que l'individu aurait une ressource unique de contrôle, de la même manière qu'un réservoir, qui se vide lorsqu'on l'utilise. Une autre conclusion formulée est que lorsque cette ressource de contrôle est épuisée les participants deviennent plus passifs et n'arrivent plus à se contrôler correctement.

À la suite de cette série d'expériences, Muraven et Baumeister (2000) ont révisé le modèle. Dans cet article les auteurs présentent plusieurs domaines dans lesquels le phénomène d'épuisement du soi se produit, tels que gérer différents stressés, ou le contrôle émotionnel. Les auteurs ont également rapporté que lors d'une performance en continu (e.g., tâche de vigilance soutenue), les individus ayant un plus faible autocontrôle auront des performances moindres. Cela s'expliquerait par un épuisement de l'autocontrôle au fur et à mesure de la tâche alors qu'il faut continuellement inhiber les éléments non pertinents, mais aussi résister à l'ennui. Enfin, les auteurs précisent qu'il serait possible d'augmenter la force d'autocontrôle en s'exerçant régulièrement. A ce propos, les auteurs font une analogie entre l'autocontrôle et un muscle (Muraven & Baumeister, 2000). Une première action sollicitant un muscle comme soulever des charges va épuiser l'énergie interne du muscle en le rendant moins performant pour soulever de nouvelles charges immédiatement. Cependant, sur le long terme et à force de sollicitations, le muscle va se renforcer permettant de soulever des charges plus lourdes. Cette analogie avec un muscle est par ailleurs plus pertinente qu'elle n'y paraît dans un premier temps. Dans cet article, les auteurs font une distinction entre le modèle qu'ils proposent qui est un modèle de « force limitée d'autocontrôle » et un modèle qui serait à « capacité limitée d'autocontrôle » (p. 249). En suivant cette distinction, un modèle à capacité limitée serait tel un réservoir à essence de voiture. Tant que nous avons des ressources nous pouvons avancer – dans notre cas nous contrôler – mais une fois le réservoir vide, il n'est plus possible de faire le moindre mètre (ou de nous contrôler). A l'inverse, un modèle à force limitée comme proposé par les auteurs permet une analogie frappante avec l'utilisation d'un muscle. La sollicitation d'un muscle pour soulever une charge lourde va partiellement épuiser le muscle, le rendant incapable de soulever cette même charge une seconde fois. En revanche, il sera toujours possible de soulever des charges moins lourdes. L'autocontrôle fonctionnerait de la même manière. C'est-à-dire qu'une première utilisation l'épuise partiellement rendant l'individu incapable de l'utiliser à 100% de ces capacités par la suite. Mais il est toujours possible de l'utiliser d'une manière sous-optimale. C'est de cette manière que l'on observerait une baisse

de performance dans une seconde tâche. La comparaison entre le modèle proposé ici et un muscle peut encore aller plus loin. Dans le cas du temps passé sur la tâche, cela renvoie à une utilisation isométrique d'un muscle. Au début c'est assez simple de maintenir la position ou la contraction musculaire, mais avec le temps et l'épuisement du muscle il devient de plus en plus difficile de conserver la contraction isométrique au même niveau. De la même manière, avec le temps passé sur la tâche, le contrôle de soi devient de plus en plus difficile. Enfin, tout comme un muscle que l'on entraîne, l'autocontrôle peut se renforcer à force de sollicitation.

Ainsi, nous pouvons comprendre le modèle de force limitée comme un modèle de disponibilité proportionnelle de l'énergie, alors qu'un modèle à capacité limitée peut être considéré comme un modèle de disponibilité absolue d'énergie. C'est dans le cadre du modèle de la force de l'autocontrôle, c'est-à-dire à force limitée, que se situe cette thèse.

Selon le modèle de la force de l'autocontrôle, n'importe quel acte d'autocontrôle devrait réduire la performance dans la tâche suivante. Cette baisse variera en fonction de l'utilisation de la force lors du premier acte. Un premier acte qui demande énormément de contrôle ou qui demande un moindre contrôle, mais sur une longue durée réduira fortement la capacité à se contrôler de nouveau par la suite dans une seconde tâche. Alors qu'un acte demandant peu de contrôle ne réduira que faiblement la possibilité de nouveaux contrôles.

Si cette première version du modèle semble séduisante, en revanche les auteurs ne précisent pas exactement quelle serait cette force. Ils n'indiquent pas non plus comment elles se rechargent ni combien de temps cela prend.

### **1.3.2.2. Le modèle en ressource revisité : une deuxième version**

Après environ une décennie de recherche dans le domaine, les auteurs vont réviser le modèle de 1998 / 2000 en proposant le glucose sanguin comme la ressource de l'autocontrôle (Baumeister et al., 2007). Ils vont également identifier des modérateurs et des médiateurs de l'effet, une hypothèse de conservation, et enfin introduire les aspects motivationnels. Les auteurs vont par ailleurs préciser qu'une augmentation de la capacité à s'autocontrôler est possible lorsque l'on sollicite son autocontrôle régulièrement. Un nouveau point que proposent les auteurs est l'hypothèse de conservation. Selon cette hypothèse lorsque l'individu utilise l'autocontrôle, il va être motivé à ne pas tout dépenser et le conserver pour des tâches (un peu) plus importantes, comme, simple exemple, ne pas mourir. Pour cela, ils se sont basés sur l'étude

de Muraven, Shmueli, et al. (2006) dans laquelle les participants étaient moins performants dans la tâche dépendante s'ils pensaient qu'ils devraient réaliser une troisième tâche par la suite. Cette hypothèse de conservation est cohérente avec la survie afin de ne pas perdre les capacités à se contrôler (Baumeister et al., 2007). Cependant cette hypothèse n'est pas directement testable et les résultats obtenus dans l'étude de Muraven, Shmueli et collaborateur (2006) peuvent s'expliquer plus simplement comme une baisse de motivation.

Selon Baumeister & Vohs (2007), la motivation est ce qui va permettre de s'engager dans une activité demandant de l'autocontrôle (activité par conséquent coûteuse puisque requérant l'autocontrôle), mais également de repousser l'effet d'épuisement du soi, en étant motivé (e.g., avec de l'argent) à se contrôler davantage. Cependant, les auteurs précisent bien que considérer l'épuisement du soi comme un état d'absence de motivation serait une mauvaise interprétation. Ils vont faire une analogie avec la fatigue physique. La fatigue amène à de moins bonnes performances, mais avec de la motivation il est possible d'agir temporairement comme si la fatigue était surmontable.

Enfin, les auteurs proposent que la ressource liée à l'autocontrôle soit le glucose sanguin. Dans une série d'expériences de Gailliot et al. (2007), les auteurs mettent en évidence que la réalisation d'une tâche épuisante réduit le glucose sanguin (mesuré avec une prise de sang) comparativement au groupe contrôle. Par la suite, ils montrent que le niveau de glucose sanguin après une tâche épuisante permet de prédire la performance dans la tâche dépendante. Les participants avec le taux le plus bas de glucose réussissent moins bien la seconde tâche. Dans l'étude 7, les participants réalisaient une tâche sollicitant l'autocontrôle, puis buvaient soit une boisson contenant du glucose, soit une boisson contenant un édulcorant. Les participants du groupe boisson glucosée ne détérioraient pas leur performance dans la seconde tâche. Dans l'étude 8, la boisson sucrée était bue avant la tâche épuisante, augmentant le taux de glucose sanguin, ce qui avait aussi pour effet de faire disparaître l'effet d'épuisement du soi. Enfin dans l'étude 9, boire une boisson sucrée (vs. un placebo) après avoir fait une tâche écologique épuisante (i.e., passer un examen) augmentait l'engagement des participants dans des comportements prosociaux (i.e., aider d'autres personnes et donner de l'argent à une association).

### **1.3.2.3. Une troisième version du modèle**

En 2018, une seconde mise à jour est effectuée sur le glucose sanguin, les croyances, et l'implantation de l'idée de gouverneur central (Baumeister et al., 2018).

Le premier point a été qu'en effet le taux du glucose sanguin n'est pas la ressource limitante qui amène à un état d'épuisement du soi. Beedie & Lane (2012) proposent que les résultats de Gailliot et collaborateurs (2007) ne soient pas corrects, car ça ne serait pas un épuisement du glucose sanguin qui serait à l'origine de la baisse de performance, mais une allocation ou non de cette ressource dans la tâche en fonction de la motivation et de l'effort qu'elle demande. Ainsi, dans cette version du modèle, le glucose n'est pas simplement vu comme la ressource utilisée lors d'actes d'autocontrôle. Son utilisation serait plus complexe. De plus, Kurzban, (2010) rapporte que le corps possède suffisamment de ressource en glucose pour ne jamais tomber à cours de cette ressource avec un effort mental, quel qu'il soit. De plus, bien que le débit sanguin augmente localement, l'énergie dépensée au niveau globale de l'encéphale n'augmente pas (moins de 1%) puisque la consommation d'oxygène reste stable ne permettant pas une plus grande oxydation du glucose (donc plus de libération d'énergie) (Raichle & Mintun, 2006). Enfin, il ne serait pas possible d'épuiser le glucose sanguin à partir d'une tâche mentale, puisqu'il est régulé par des systèmes évitant qu'il ne chute afin de continuer à faire fonctionner le cerveau correctement (Kurzban, 2010). De plus, les données de Gailliot et al. (2007) ont été réanalysées par Kurzban (2010) et n'ont pas permis de mettre en évidence une chute du glucose sanguin de manière systématique ou significative. La distribution des données des participants suit une loi normale autour du 0, ce qui ressemble à une fluctuation aléatoire. La chute de glucose ne serait donc pas liée à la tâche effectuée. Enfin, Molden et al. (2012) et Sanders et al. (2012) ont montré que le rinçage de la bouche avec une boisson sucrée faisait disparaître l'effet d'épuisement du soi. Consommer du glucose ou se rincer la bouche activerait la région cérébrale associée à la récompense (i.e., voie dopaminergique dans le striatum) et donc faciliterait la performance (Molden et al., 2012).

Le deuxième point porte sur les théories implicites. Dans une série d'études publiées en 2010, Job et al. (2010) montrent que les participants qui considèrent l'autocontrôle comme une ressource illimitée ne semblent pas subir le phénomène d'épuisement du soi comparativement à ceux qui perçoivent l'autocontrôle comme une ressource limitée. L'épuisement du soi serait donc un phénomène lié aux croyances envers les ressources en autocontrôle. Cependant, Vohs et al. (2012) montrent par la suite que cet effet de la croyance ne fonctionne que pour des cas

d'épuisement du soi léger ou moyen, mais pas lorsque l'épuisement du soi est sévère (i.e., réalisation de 3 ou 4 tâches d'épuisement successivement).

Le troisième point abordé dans l'article de Baumeister et al. (2018) est la notion de « gouverneur central ». Afin de comprendre l'intégration du gouverneur central dans le modèle, il est important de revenir à l'origine. Parkin et al. (1999), ont rapporté que dans le cadre de la fatigue musculaire, l'énergie du corps (i.e., adénosine triphosphate et glycogène) n'était pas réellement le facteur limitant dans la réduction de la contraction musculaire à la suite d'une première longue sollicitation du muscle. De plus, Gandevia (2001) propose que si l'on excite avec de la stimulation transcrânienne la zone du cortex moteur associé au muscle ciblé, alors il est possible pour le muscle de produire plus de force que lors d'une contraction maximale volontaire, et cela même lorsqu'il est censé être fatigué après la réalisation d'une tâche. A partir de ces observations, Evans et al. (2016) proposent l'idée d'un gouverneur central. Selon Noakes (1997, dans Evans et al., 2016), le gouverneur central limite l'effort afin d'éviter un défaut de la régulation homéostatique (p. 7). Selon Evans et al. (2016), il en serait de même pour l'autocontrôle. La baisse de performance observée ne serait pas due à un épuisement réel d'une ressource, mais à l'intervention d'un gouverneur central dont la fonction serait de préserver les ressources disponibles en induisant une sensation de fatigue. Ainsi, le gouverneur central va intégrer les informations venant de la tâche en cours, de l'énergie disponible, des possibles futures tâches à faire, des expériences passées, des coûts d'opportunité (Kurzban et al., 2013) et de la motivation. Cela va permettre de faire un calcul de types bayésiens selon les auteurs (donc en se basant sur des données connues a priori), qui génèrerait un sentiment de fatigue ou non. Ce sentiment va déterminer la décision de continuer la tâche ou de l'arrêter.

### *Quel type de tâche pour mettre en évidence le phénomène ?*

Deux méthodes permettent d'observer le phénomène d'épuisement du soi : le temps passé sur la tâche et le protocole des tâches séquentielles. Dans le cas du temps passé sur la tâche, seules des tâches mentales sont utilisées afin de mettre en évidence ce phénomène (Arber et al., 2017). Dans le cas des tâches séquentielles, l'effet d'épuisement du soi est déterminé en observant une baisse de performance dans la seconde tâche. Cette seconde tâche peut donc être purement mentale, et dans ce cas on observe une baisse de performance sur les temps de réaction ou sur le nombre d'erreurs (Baumeister et al., 1998; Moller et al., 2006; Muraven & Slessareva, 2003). Elle peut aussi être une tâche physique, et dans ce cas on peut observer une baisse de

performance sur un nombre de répétitions ou encore sur un temps de maintien ou d'effort musculaire (Boat & Taylor, 2017; Brown & Bray, 2017; Pageaux et al., 2013).

Une méta-analyse récente indique par ailleurs que la performance maximale anaérobie, dont la contraction maximale volontaire (CMV) fait partie, n'est pas affectée par le phénomène d'épuisement du soi (Brown et al., 2020). En revanche, les tâches d'exercices aérobie, de résistance isométrique, de résistance dynamique, les tâches de coordination motrice (e.g., lancer de fléchettes ou de ballon de basket), ainsi que les tâches de temps de réaction (i.e., départ d'un sprint) semblent être sensibles à l'épuisement du soi (Brown et al., 2020; Englert et al., 2015; Englert & Bertrams, 2012, 2014; Pageaux & Lepers, 2018; Veness et al., 2017). Cependant, des différences dans la taille d'effet entre ces différents types de tâches sont visibles (Brown et al., 2020). Ainsi, les tâches aérobie auraient une taille d'effet plus petite ( $g = 0.26$ ) comparativement aux autres ( $g > 0.51$ ). De plus, il a été montré que la taille d'effet était plus grande pour les tâches isolant un ou peu de muscles (e.g., tâche de résistance avec une poignée de serrage) comparativement à une tâche sollicitant l'ensemble du corps (Giboin & Wolff, 2019). Cette différence viendrait des processus automatiques qui sont plus présents lorsque l'ensemble du corps est sollicité et par conséquent solliciteraient moins l'autocontrôle. Cette explication serait cohérente avec les tailles d'effet plus faibles observées dans les tâches aérobies comparativement aux autres types de tâches puisque les tâches aérobies sont généralement des tâches impliquant l'ensemble du corps (e.g., course sur tapis, pédaler sur un vélo d'intérieur).

Nous avons vu que pour la tâche dépendante une tâche mentale ou une tâche physique pouvait être utilisée afin de mesurer l'épuisement du soi. En revanche pour la tâche d'épuisement, ce sont uniquement des tâches mentales qui sont utilisées. Les tâches d'activités physiques aiguës peuvent théoriquement créer l'effet d'épuisement du soi, cependant elles peuvent également améliorer les performances dans les tâches subséquentes sollicitant les fonctions exécutives, la mémoire et de manière générale les fonctions cognitives (Chang et al., 2012; Lambourne & Tomporowski, 2010; Loprinzi et al., 2019; Pesce et al., 2009; Sibley & Etnier, 2003). Bien que les mécanismes derrière cette amélioration ne soient pas complètement tranchés, plusieurs explications non exclusives les unes des autres ont été proposées telles que l'augmentation de l'éveil, l'activation du Locus Coeruleus, le débit sanguin cérébral, les catécholamines ou encore les facteurs neurotrophiques (Pontifex et al., 2019). Cette amélioration de performance à la suite d'une tâche physique masquerait donc l'effet d'épuisement du soi en améliorant notamment les capacités d'inhibition.

Le modèle de la force de l'autocontrôle est l'un des modèles les plus complets traitant de l'épuisement du soi. Il permet d'expliquer ce phénomène avec parcimonie tout en prenant en compte les critiques qui ont pu être faites à son égard. Les auteurs de ce modèle ont notamment intégré la motivation ou la croyance en l'épuisement de l'autocontrôle dans celui-ci. De plus, ce modèle permet d'expliquer le phénomène d'entraînement de l'autocontrôle. Cependant, l'absence d'information convaincante quant à la nature de la ressource proposée par ce modèle reste sa plus grande limite. En effet le glucose sanguin ne semble pas être le candidat idéal.

## **1.4. Deux principaux débats autour de l'effet d'épuisement du soi**

En 2011, la psychologie sociale est frappée par une crise de la réplication, avec en premier lieu l'affaire Diedrik Stapel qui a fraudé pour publier plusieurs articles en inventant des données, et deuxièmement avec les publications de Daryl Bem sur la possibilité pour l'humain de prédire le futur (à condition d'être une femme, d'être extravertie et que les stimuli soient érotiques)<sup>5</sup>. Ces affaires vont amener la psychologie sociale à se questionner quant à la réplication des études et la fiabilité des modèles.

L'épuisement du soi n'est pas épargné par ces débats et deux critiques majeures vont apparaître. La première critique concerne le mécanisme qui expliquerait l'épuisement du soi. La seconde critique concerne l'existence même de l'effet d'épuisement du soi.

### **1.4.1. Les débats sur le mécanisme**

Le modèle de la force de l'autocontrôle possède une limite importante qui concerne les ressources en question. Afin de répondre à cette limite, le modèle de processus d'épuisement du soi (Inzlicht & Schmeichel, 2012) propose que la baisse de performance observée soit un changement motivationnel et attentionnel. En revanche, le modèle du contrôle intégratif par l'effort (André et al., 2019) explique que la ressource n'est pas du glucose, mais des unités de traitement corticales de l'information.

---

<sup>5</sup> En testant toutes les covariables possibles, il est possible de rendre des valeurs de p significatives dû à la fluctuation statistique. Pour tester cela, vous pouvez vous rendre sur le lien suivant : <https://shinyapps.org/apps/p-hacker/>

#### **1.4.1.1. Mécanisme basé sur un changement de motivation**

En 2012, Inzlicht et Schmeichel proposent un modèle alternatif à celui de la force de l'autocontrôle : le modèle du processus d'épuisement du soi (i.e., « the process model of ego-depletion »). Selon les auteurs, « l'autocontrôle peut être construit comme une compétition entre deux forces opposées : la force qui motive l'expression des pulsions (i.e., la force de pulsion) contre la force compensatoire qui dépasse les pulsions (i.e., la force de l'autocontrôle) »<sup>6</sup> (Inzlicht & Schmeichel, 2012, p. 455). Dans ce modèle il n'est plus question de ressources, mais de motivation, d'attention et d'émotion.

Les auteurs vont faire deux propositions de processus : un changement dans la motivation et un changement dans l'attention (Figure 2). Plus précisément, le changement de la motivation va dépendre d'une baisse de la force de l'autocontrôle et d'une augmentation de la force de pulsion. Pour chacun des deux processus, les auteurs insistent sur deux aspects. Tout d'abord, Inzlicht et Schmeichel vont expliquer l'effet d'épuisement du soi par une réduction de la motivation à réaliser des tâches demandant de se contrôler après une première tâche sollicitant l'autocontrôle puisque le contrôle de soi est difficile et coûteux cognitivement. Cet effet de baisse de motivation peut être compensé par un apport de motivation extrinsèque (e.g., rémunérer les participants pour leur performance ou leur indiquer que la performance sera très utile pour la société ; Muraven & Slessareva, 2003). Le deuxième aspect soutient que la baisse de motivation n'est pas générale puisqu'il va y avoir une augmentation de la motivation à faire des tâches plus agréables dirigées par les envies et les pulsions (e.g., augmentation de la motivation à boire de l'alcool alors que l'on va conduire par la suite ; Muraven et al., 2002). Il s'agit donc d'un conflit entre les deux forces précédemment citées.

Les mêmes processus vont apparaître au niveau de l'attention. Cependant, les auteurs vont se baser sur les modèles cybernétiques (Wiener, 1948 dans Inzlicht & Schmeichel, 2012). Ainsi, deux systèmes vont fonctionner de manière séquentielle. Le premier système concerne la surveillance (i.e., « monitoring system ») et va détecter les conflits entre l'objectif établi et la performance en cours ainsi que la détection des erreurs. Ce système serait situé dans le cortex cingulaire antérieur (CCA) (Dehaene et al., 1994). Une fois l'erreur ou le conflit détecté, l'information va passer au système de contrôle qui va régler le problème détecté en supprimant

---

<sup>6</sup> “Self-control can be construed as a competition between two opposing forces: the force that motivates the expression of an impulse (i.e., impulse strength) versus the countervailing force that overrides the impulse (i.e., self-control strength).”

la réponse incompatible et en ajoutant la réponse désirée. Ce système serait situé dans le cortex préfrontal. Ainsi, l'autocontrôle peut échouer lorsque le deuxième système n'implémente pas les bonnes corrections (manque de motivation), mais aussi lorsque le premier système ne détecte pas les signaux indiquant un décalage entre les objectifs et l'état actuel. Par conséquent, à la suite d'une tâche qui demande du contrôle de soi, les individus auraient plus de difficulté à détecter les signaux indiquant qu'il est nécessaire de se contrôler. Ce serait donc un défaut du système de détection. Par exemple, Inzlicht et Gutsell (2007) ont montré qu'à la suite d'une tâche de contrôle émotionnel, les participants avaient une moins grande réactivité neuronale (error related negativity, ERN) au niveau du CCA dans une tâche de Stroop. Cette moins grande réactivité neuronale indiquerait un défaut attentionnel envers les signaux de contrôle. Le deuxième point concerne l'augmentation de l'attention portée aux signaux indiquant une récompense (immédiate ou différée). Par exemple, Schmeichel et al. (2010) ont montré qu'à la suite d'une tâche de contrôle d'écriture (i.e., les participants devaient écrire une histoire sans utiliser les lettres « a » ou « n »), les participants percevaient plus facilement des symboles renvoyant à l'idée d'une récompense (le symbole \$) que des symboles ne renvoyant pas à une récompense (le symbole %) ce qui suggère, selon les auteurs, une plus grande attention portée à des symboles renvoyant à l'idée de récompense.

Bien que peu développés dans les articles sur le modèle de processus d'épuisement du soi, les auteurs abordent également un changement dans les émotions (Inzlicht et al., 2014; Inzlicht & Schmeichel, 2012). Dans la version du modèle de 2014, ils précisent que le changement de motivation - du « je dois » vers le « je veux » - induit un changement dans l'attention, mais aussi un changement dans l'émotion associée à la réalisation de la tâche (Figure 2). Les émotions sont caractérisées ici par la valence et l'éveil, ce qui renvoie à l'intensité de l'expérience associée aux objectifs. Ainsi, à la suite d'une première tâche mentale sollicitant l'autocontrôle, une réduction de la motivation envers les tâches demandant de l'autocontrôle va être observée, ce qui réduit l'attention portée aux signaux de contrôle, mais aussi une valence émotionnelle plus négative envers ce type de tâche et un éveil réduit. À l'inverse, une augmentation de la motivation à réaliser des tâches plus agréables va apparaître, augmentant l'attention vers les signaux signalant la récompense (e.g., faire une tâche plus agréable ou recevoir de l'argent) mais aussi une valence plus positive envers ce type de tâche ainsi qu'un éveil accru dirigé dans ces tâches.

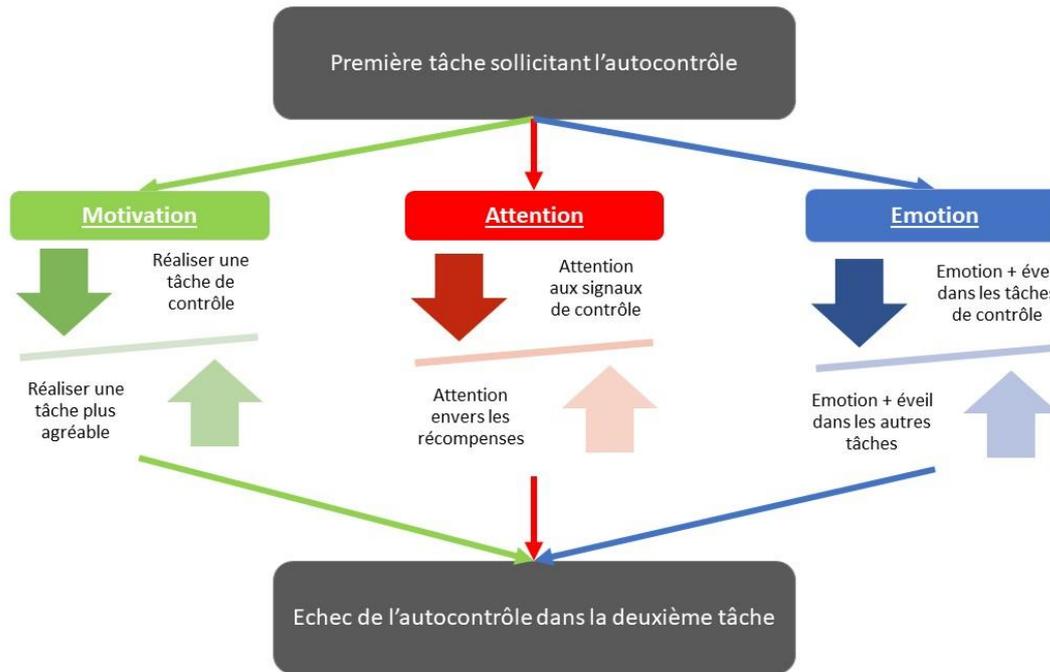


Figure 2. Représentation du modèle en processus d'épuisement du soi, inspirée de Inzlicht et Schmeichel (2012), p 451.

Les auteurs justifient ce modèle de manière évolutionniste comme étant adaptatif. Ce changement motivationnel, attentionnel et émotionnel permet à un organisme de s'engager dans une tâche cognitivement coûteuse afin d'atteindre des objectifs et d'obtenir les gains associés, mais aussi de se désengager afin d'aller vers des tâches qui pourraient permettre des gains plus intéressants. C'est une alternance entre le « travail » (i.e., l'autocontrôle) et le « plaisir » (Kool & Botvinick, 2014).

Ce modèle bien qu'intéressant possède certaines limites. Premièrement, rien ne permet d'affirmer que le changement motivationnel soit le seul moteur de la baisse de performance observée dans la tâche dépendante. En effet, l'augmentation de la fatigue ressentie après la réalisation d'une tâche sollicitant l'autocontrôle pourrait être un facteur explicatif de la baisse de performance (Brown & Bray, 2017). Deuxièmement, ce modèle ne propose aucun mécanisme qui pourrait expliquer l'effet d'entraînement des capacités à s'autocontrôler (Friese et al., 2017). Troisièmement, ce modèle ne permet pas d'expliquer la baisse de performance plus importante dans la tâche dépendante lorsque les participants s'attendaient à avoir une

troisième tâche comparativement au groupe qui pensait en avoir que deux (Muraven, Shmueli, et al., 2006). S'il s'agit uniquement d'un changement dans la motivation à réaliser les tâches d'autocontrôle et qu'aucune ressource n'est en jeu, alors la différence entre les deux groupes ne devrait pas apparaître. Une baisse de motivation devrait se produire de manière similaire entre les deux groupes à la suite de la tâche d'épuisement.

#### **1.4.1.2. Mécanisme sur les ressources intrinsèques liées aux unités de traitement**

Le deuxième modèle est le modèle intégratif du contrôle par l'effort (André et al., 2019). Ce modèle apporte une nouvelle explication à la constitution des ressources en autocontrôle proposée à l'origine par le modèle de la force de l'autocontrôle. Ainsi, ce nouveau modèle propose que les ressources d'autocontrôle soient composées d'unités de traitement corticales et que ces dernières puissent s'épuiser. De ce fait, ce modèle n'est pas exclusif avec le modèle de la force de l'autocontrôle, mais au contraire l'explique avec une approche plus neuropsychologique.

Selon ce modèle, lorsque nous réalisons une tâche qui sollicite les capacités d'autocontrôle, certaines parties du cerveau vont générer un signal d'effort afin de moduler l'activité neuronale dédiée à la tâche en cours. La neuro-imagerie a permis d'identifier trois grands réseaux de neurones : 1) le Réseau mode par défaut, 2) le réseau exécutif central et enfin 3) le réseau de la saillance. Selon les auteurs, le réseau responsable du signal de l'effort possède les caractéristiques suivantes.

- L'activité du réseau doit augmenter en même temps que la difficulté de la tâche.
- Le réseau doit pouvoir recevoir et intégrer les informations sur la tâche (coût et bénéfice) ainsi que sur l'état corporel (fatigue, homéostasie).
- Le signal généré par ce réseau doit être corrélé aux réponses du système sympathique qui est un indicateur de l'effort.
- Le signal généré par ce réseau doit se produire avant l'activation des autres réseaux impliqués dans la tâche.
- Une lésion de ce réseau devrait amener à un manque d'engagement, des échecs de prise de décisions ou encore de détection de conflit.

Ainsi, les auteurs indiquent que seul le réseau de la saillance répond correctement aux cinq critères précédemment cités. Alors, comment expliquer la baisse de performance lorsque

l'on fait plusieurs tâches sollicitant l'autocontrôle ? Tout d'abord, la capacité à produire un effort serait limitée car le nombre d'unités permettant de produire le signal d'effort est fini. De plus, la connectivité entre les neurones qui génèrent ce signal peut perdre en efficacité au cours du temps sur la tâche. Cette baisse d'efficacité serait due à un changement dans les propriétés électrochimiques des neurones pyramidaux (i.e., les neurones qui génèrent le signal de l'effort) à cause de métabolites présent au niveau synaptique. Cette baisse d'efficacité entrainerait ainsi une sensation de fatigue, mais c'est aussi ce qui expliquerait la baisse de performance observée dans la tâche en cours et surtout dans la tâche subséquente lorsque l'on sollicite trop l'autocontrôle. Ainsi, après avoir attendu un certain temps, les métabolites sont nettoyés au niveau synaptique (recapturés par le neurone pré-synaptique ou dégradés), et la capacité à se contrôler est de nouveau pleinement opérationnelle.

Ce modèle est en adéquation avec le modèle de la force de l'autocontrôle, puisque les capacités à se contrôler seraient ici aussi limitées. Les ressources limitées seraient donc le nombre d'unités corticales disponibles, mais aussi la connectivité du réseau. Ce modèle intégratif du contrôle par l'effort prend aussi en compte les coûts et bénéfices liés aux tâches puisque ces informations sont intégrées par le réseau de la saillance. Pour illustrer, si je réalise une tâche et que mon téléphone portable est à côté de moi, alors une partie des unités de calcul seront dédiées à résister à la tentation de l'utiliser ce qui en laissera moins de disponibles pour la tâche en cours. Enfin, selon ce modèle, la fatigue, qui constitue un coût supplémentaire, est vue comme un signal indiquant un danger à continuer la tâche en cours et est donc un signal indiquant qu'il faut arrêter la tâche.

Par rapport aux données de la littérature, ce modèle intégratif du contrôle par l'effort permet de répondre à l'absence d'effet d'épuisement du soi constatée lorsqu'une motivation extrinsèque est présentée à l'individu pour réaliser la tâche dépendante (Muraven & Slessareva, 2003). Un effort plus important peut être produit en recrutant plus d'unités corticales. Cependant, si l'épuisement au niveau synaptique est trop important et que par conséquent toutes les unités corticales ont été épuisées, alors la motivation extrinsèque ne suffira pas, comme observé dans l'étude de Vohs et al. (2012). Enfin, ce modèle permet d'expliquer l'entraînement de l'autocontrôle (Friese et al., 2017). En effet, en sollicitant régulièrement le réseau de la saillance, la plasticité cérébrale permettra d'avoir des connexions synaptiques plus nombreuses et plus efficaces entre les neurones. Cela permettra par la suite d'avoir un niveau d'autocontrôle plus élevé.

Cependant, ce modèle ne permet pas de répondre à l'amélioration observée lorsque deux tâches sont faites simultanément (Tuk et al., 2015). Les colonnes corticales utilisées par une tâche ne peuvent pas l'être par une autre en même temps, ce qui laisse moins de colonnes disponibles. Cela devrait se traduire par une baisse de performance dans cette seconde tâche faite simultanément. Est-il possible que sur une utilisation très similaire, les colonnes partagent de la puissance de calcul entre deux tâches, ou qu'une sorte d'« overclocking » se produise lorsque deux tâches sollicitant l'autocontrôle sont faites simultanément ? Ce modèle ne semble pas pouvoir répondre à cette interrogation. Il ne permet pas non plus de répondre à l'épuisement du soi vicariant (i.e., observer une personne réaliser une tâche épuisante va aussi épuiser l'observateur), ainsi que la récupération vicariante, mais aussi l'épuisement du soi imaginé (i.e., imaginer réaliser une tâche d'épuisement va épuiser l'individu ; Ackerman et al., 2009; Egan et al., 2012; Graham et al., 2014).

Ce modèle intégratif du contrôle par l'effort est donc un modèle assez complet qui prend en compte beaucoup de données de la littérature. Les unités de calculs corticales sont une proposition concrète quant aux ressources d'autocontrôle. Cependant il reste quelques limites à ce modèle.

## **1.4.2. Les débats sur l'existence de l'effet**

Concernant l'existence de l'effet d'épuisement du soi, les méta-analyses ont été les premières à soulever le problème de la réplication en mettant en évidence un effet nul. Par la suite, plusieurs études, dont deux études multi-laboratoires, n'ont pas réussi à répliquer l'effet d'épuisement du soi.

### **1.4.2.1. La remise en question par les méta-analyses**

#### Les méta-analyses et l'existence de l'effet

En 2010, Hagger et ses collègues sortent des méta-analyses très complètes sur l'épuisement du soi et qui sera fortement citée par la suite. Dans cette méta-analyse, la taille d'effet observée correspond à un effet moyen à large (selon la définition donnée par Cohen, 1988) avec une taille d'effet globale  $d = 0.62$ , IC95 [0.57, 0.67] (Hagger et al., 2010). Cette

méta-analyse qui inclue 83 études permet d'observer la taille d'effet en fonction de différentes tâches, différentes sphères de l'autocontrôle ou encore différents modérateurs de l'effet, regroupant donc des échantillons conséquents (e.g., tâche de Stroop comme tâche d'épuisement  $N = 1322$ , tâche de serrage manuelle comme tâche dépendante  $N = 872$ ). Cette diversité permet d'observer les tailles d'effet en fonction de nombreux paramètres.

Cependant, cette méta-analyse n'utilise pas réellement d'outils statistiques permettant de contrôler et de corriger les biais de publications. Afin de pallier aux possibles biais de publication, une nouvelle analyse des résultats (Carter & McCullough, 2014) de cette première méta-analyse a été réalisée, notamment en utilisant l'analyse PET et PEESE (« Precision Effect Test » et « Precision Effect Estimate with Standard Error »). La méthode PET consiste à faire une régression de l'erreur standard sur la taille d'effet des études, alors que l'analyse PEESE consiste à faire une régression de la variance sur la taille d'effet (Stanley & Doucouliagos, 2014). Ces deux méthodes permettent de détecter (avec le coefficient de régression de la pente) et de corriger (avec l'ordonnée à l'origine de la régression) le biais de publication en faisant une prédiction sur la taille d'effet réelle d'un phénomène. PET permet une meilleure prédiction lorsque l'effet n'existe pas, et PEESE permet une meilleure prédiction lorsqu'il existe. Ainsi, les résultats de cette seconde analyse indiquent l'existence de biais de publication qui n'ont pas été pris en compte dans la méta-analyse de Hagger et al. (2010). La prise en compte de la taille d'effet globale n'est pas différente de 0 (PET :  $\beta_0 = -0.10$  IC95[-0.23, 0.02],  $\beta_1 = 2.72$ ) (Carter & McCullough, 2014). Dans un Tweet récent, Daniël Lackens indiquait que le champ de l'épuisement du soi est l'un des champs de recherche les plus biaisés qu'il ait pu voir (voir Annexe 1). Pour cela, il s'appuie notamment sur les « funnel plots » présents dans la méta-analyse de Carter et McCullough (2014) qui semblent indiquer la présence de biais de publication. Dans une seconde méta-analyse portant sur 116 études, la taille d'effet globale observée avant correction pour les biais de publication était moyenne,  $g = 0.43$  IC95 [0.34, 0.52] (Carter et al., 2015). Une fois la correction faite pour les biais de publication, en utilisant les analyses PET-PEESE ainsi que Trim-And-Fill<sup>7</sup>, la taille d'effet est apparue faible ou nulle. Cependant, il semblerait que les auteurs de cette méta-analyse aient mal utilisé les outils PET-PEESE (Dang, 2018). Il semble qu'il soit nécessaire que les études aient une bonne homogénéité et qu'un grand nombre d'études soit sélectionné dans l'analyse afin d'utiliser ces outils (Stanley & Doucouliagos, 2014). En effet, une régression est réalisée, mais pour qu'elle

---

<sup>7</sup> Trim-And-Fill : Méthode qui consiste à créer un « funnel plot » avec l'erreur standard des études en prédicteur de la taille d'effet, puis à compléter ce graphique jusqu'à ce qu'une symétrie soit obtenue, voir annexe 2.

soit correcte, il faut que les études se ressemblent suffisamment, ou qu'il y en ait suffisamment en cas de légères différences. Or, cela ne semble pas être le cas dans la méta-analyse de Carter et al. (2015). De plus, dans la méta-analyse de Carter et al. (2015) les auteurs « ont inclus des études qui utilisent des tâches d'épuisements inappropriées » (Dang, 2018, p.646). En effet, selon Dang, ces tâches ne sollicitent pas réellement l'autocontrôle, ou ne font pas consensus. Dang indique par exemple que 4 études ont utilisé une tâche d'exclusion sociale plutôt que de manipuler l'autocontrôle. Dang (2018) a donc réalisé de nouvelles analyses sur les données de Carter et al. (2015) avec et sans les études « inappropriées », en corrigeant pour l'hétérogénéité et en ajoutant 32 nouvelles études publiées ou non à la suite d'une nouvelle recherche. La taille d'effet globale obtenue était alors modérée ( $g = 0.38$ , IC95 [0.31, 0.45]). En incluant uniquement les études dont la tâche d'épuisement est « appropriée », l'effet est encore un peu plus grand ( $g = 0.42$ , IC95[0.32, 0.51]). En prenant en compte l'analyse Trim-and-Fill pour corriger les biais de publication, les résultats restent significatifs ( $g = 0.24$  et  $g = 0.42$  respectivement). De plus, en analysant uniquement les études qui permettent une hétérogénéité suffisamment basse (avec comme tâche d'épuisement les essais d'attention, les vidéos émotionnelles et le Stroop), la taille d'effet semble assez élevée (PEESE  $\beta_0 = 0.56$ ). Enfin, plusieurs méta-analyses ont été aussi réalisées sur des tâches impliquant de l'exercice physique et portant sur la fatigue mentale (Brown et al., 2020; Giboin & Wolff, 2019; Holgado et al., 2019; McMorris et al., 2018). Ces différentes méta-analyses font ressortir des tailles d'effet allant de 0.27 à 0.51. Certains auteurs de ces méta-analyses ont vérifié s'ils avaient des biais de publication et n'en ont pas trouvé (McMorris et al., 2018), alors que d'autres en mettent en évidence (Holgado et al., 2019). Une fois le biais de publication corrigé, l'effet précédemment observé ne se distingue plus de 0.

### Les méta-analyses et le temps passé sur la tâche

Les méta-analyses se sont aussi intéressées à l'effet du temps passé sur la tâche sur l'épuisement du soi. Dans la méta-analyse de Hagger et al. (2010), les auteurs ont réalisé une régression en prenant le temps passé sur la tâche en minute comme prédicteur et la taille d'effet comme variable dépendante. Le résultat est marginal ( $p = .07$ ) avec une faible taille d'effet ( $\beta_1 = 0.11$ ). Cependant, la grande majorité des études prises en compte dans cette méta-analyse a des tâches d'épuisements de courte durée, ce qui rend difficile d'extrapoler le résultat pour les tâches de longue durée. En effet, la régression serait biaisée par le nombre d'études utilisant des

tâches courtes comparativement aux études utilisant des tâches longues. La moyenne de la durée des tâches dans les études retenues dans cette méta-analyse<sup>8</sup> est de 6.43 minutes avec un écart type de 1.94 minute. Seules 6 études ont une durée supérieure à 10 minutes (de 11 à 30 minutes) sur la totalité des 148 expériences retenues. Par ailleurs, l'étude de Hagger et al. (2010) semble aller dans le sens d'une absence de différence lorsque les tâches d'épuisement sont courtes. D'autres méta-analyses ont essayé de prendre en compte la durée de la tâche d'épuisement (Brown et al., 2020; Giboin & Wolff, 2019) et portent notamment sur la fatigue mentale. Dans ces deux méta-analyses, le temps passé sur la tâche ne semble pas être un critère pertinent pour observer l'effet d'épuisement du soi. Dans la méta-analyse de Brown et al. (2020), la différence dans la taille d'effet est marginale ( $p = .05$ )<sup>9</sup> entre les tâches d'épuisement qui durent moins de 30 minutes ( $g = 0.45$ ) et 30 minutes ou plus ( $g = 0.30$ ). Dans celle de Giboin et Wolff (2019), le temps passé sur la tâche d'épuisement ne semble pas corrélérer avec la performance dans la tâche dépendante ( $r = -.043$ ,  $p = .792$ ). Les auteurs indiquent cependant que la durée de la tâche physique dépendante est variable entre les études et que cela peut influencer les résultats. La tâche dépendante est plus longue dans la littérature sur la fatigue mentale (947 secondes) que dans la littérature sur l'épuisement du soi (233 secondes). Il a été suggéré que la durée et l'intensité de la tâche d'endurance étaient aussi des facteurs importants afin d'observer l'épuisement du soi (Van Cutsem et al., 2017). De plus, dans ces méta-analyses, les tâches d'épuisement les plus longues sont aussi celles ayant un échantillon le plus petit. A l'inverse, les tâches d'épuisement les plus courtes ont un échantillon plus conséquent (Brown et al., 2020). Cela peut laisser à penser que nous sommes en présence d'un paradoxe de Simpson (Simpson, 1951). De plus, les méta-analyses ne portent pas spécifiquement sur la durée de la tâche d'épuisement, mais font seulement une régression entre la durée de la tâche d'épuisement et la taille de l'effet. Il est alors tout à fait possible que des facteurs confondants (e.g., le type de tâche utilisé lorsque la durée est plus longue, la complexité de la tâche, le nombre ou le profil des participants, etc.) aient exercé une influence sur la taille de l'effet observé.

Pour conclure, les méta-analyses ont été les premières à remettre en question l'existence, ou tout du moins, la taille de l'effet de l'épuisement du soi. Les biais de publication ont été mis

---

<sup>8</sup> Données récupérées à partir du matériel complémentaire disponible de la méta-analyse : <http://dx.doi.org/10.1037/a0019486.supp>

<sup>9</sup> Avec un très grand nombre d'observations (comme dans une méta-analyse), une valeur «  $p$  » aussi élevée est plutôt un indicateur d'une absence de différence (Lakens, 2015).

en cause dans un premier temps. Cependant, les corrections faites n'ont pas toujours été réalisées correctement. De plus, Dang (2018) a pu montrer que lorsque les tâches d'épuisement utilisées étaient inappropriées (i.e., ne sollicitant pas assez l'autocontrôle), alors l'effet n'était pas présent. Enfin, les méta-analyses se sont aussi intéressées à l'effet du temps passé sur la tâche d'épuisement. Cependant la conclusion ne semble pas certaine.

#### **1.4.2.2. Les études de répliation**

Afin de répondre aux critiques des méta-analyses, plusieurs chercheurs ont essayé de répliquer l'effet d'épuisement du soi.

##### Les études multi-laboratoires

En 2016, Hagger et collaborateurs ont essayé de répliquer l'effet d'épuisement du soi avec un très grand échantillon ( $N = 2141$ ) sollicitant 23 laboratoires dans le monde. Les résultats ont montré une taille d'effet très proche de 0 ( $d = 0.04$ , IC95[-0.07, 0.15]) (Hagger et al., 2016). Cependant, pour cette étude les auteurs ont utilisé la tâche de barrage de « E », tâche qui est vivement critiquée (Wimmer et al., 2019). Par ailleurs, une nouvelle analyse des résultats en prenant en compte la perception d'effort des participants au cours de la tâche a mis en évidence une différence significative (Dang, 2016). L'auteur précise que cette tâche est très souvent évaluée par les participants comme ne requérant pas d'effort, mais que l'effet apparaissait pour ceux qui l'ont évaluée comme coûteuse. Une autre étude de grande envergure ( $N = 3531$ ,  $k = 36$ ) utilisant la même tâche de barrage de « E » ainsi que la tâche d'écriture (les participants devaient écrire une histoire sans utiliser les lettres A et N) a été réalisée en 2021 (Vohs et al., 2021). Les auteurs n'ont pas réussi à mettre en évidence l'effet d'épuisement du soi :  $d = 0.06$ , IC95[-0.02, 0.14].

Cependant, dans une autre étude pré-enregistrée ayant un grand échantillon ( $N = 1775$ ) avec plusieurs laboratoires ( $k = 12$ ), et ayant une tâche Stroop comme tâche d'épuisement, les résultats indiquent que l'effet d'épuisement du soi est bien présent bien que petit  $d = 0.16$ , IC95 [0.05, 0.26] (Dang et al., 2020).

### Les études de réplification classique

Il existe plusieurs centaines, voire un ou plusieurs milliers d'études sur l'épuisement du soi. Baumeister indique que c'est presque un article par jour qui est publié sur cet effet (Baumeister et al., 2018, p.141). Cependant, plusieurs études qui ont été pré-enregistrées n'ont pas réussi à répliquer l'effet d'épuisement du soi (Etherton et al., 2018; Lurquin et al., 2016; Osgood, 2017; Xu et al., 2014). L'une d'entre elles a par ailleurs utilisé les statistiques bayésiennes afin de quantifier la probabilité d'existence ou non de l'effet (Etherton et al., 2018). Dans cet article, sur une série d'études, les auteurs observent que l'hypothèse nulle a environ 25 fois plus de chance d'être vraie que l'hypothèse alternative et cela sur un échantillon total de 840 personnes. Par ailleurs, en utilisant les statistiques fréquentistes, les auteurs trouvent une taille d'effet faible, dont l'intervalle de confiance recoupe le zéro ( $g = 0.10$ , IC95 [-0.05, 0.24]). Cependant, dans cet ensemble d'étude, les durées de la tâche d'épuisement étaient courtes, allant de 3 minutes au minimum (Osgood, 2017) à 8 minutes maximum (Xu et al., 2014), et d'autres se situant entre les deux (Etherton et al., 2018; Lurquin et al., 2016).

De plus, le problème de la réplification des études peut par ailleurs provenir de la difficulté des tâches utilisées. En plus de la tâche de barrage de « E », plusieurs autres tâches semblent être insuffisamment compliquées pour induire l'effet d'épuisement du soi de manière efficace telles que regarder une vidéo ou écrire un texte sans utiliser certaines lettres ou touches (Etherton et al., 2018; Hagger et al., 2016; Lurquin et al., 2016; Osgood, 2017; Vohs et al., 2021; Wimmer et al., 2019; Xu et al., 2014). Ces tâches ne demandent pas ou peu de contrôler une réponse dominante et par conséquent n'impliquent pas ou peu l'autocontrôle. A l'opposé, des tâches qui sollicitent fortement les fonctions exécutives devraient demander un coût de contrôle élevé (André et al., 2019; Hofmann et al., 2012). Le modèle de Miyake et al. (2000) distingue trois fonctions exécutives : la mise à jour de la mémoire de travail (Updating), l'inhibition contrôlée et la capacité à passer rapidement d'une règle à une autre (Shifting). L'inhibition d'une réponse dominante est par ailleurs la fonction la plus importante car impliquant directement l'autocontrôle. Une tâche suffisamment compliquée devrait donc impliquer au moins fortement l'inhibition, mais si une ou les deux autres fonctions exécutives sont sollicitées alors, la tâche sera encore plus compliquée. Par exemple, une tâche de Stroop modifiée permettra de solliciter l'inhibition de la réponse dominante (i.e., la lecture automatique), mais sollicitera aussi le Shifting (i.e., un changement des règles de réponse sur certains essais) afin d'alterner la lecture et la dénomination de couleur.

Pour conclure, lors des tentatives de réplication, certaines études utilisant des tâches suffisamment complexes semblent y arriver, alors qu'avec des tâches plus simples la réplication ne se fait pas. Cela laisse à penser que la difficulté de la tâche est un facteur explicatif de l'épuisement du soi.

### **1.4.3. Conclusion sur les débats**

Ces deux débats ont permis de mettre en évidence plusieurs faiblesses concernant l'épuisement du soi. La première concerne le mécanisme explicatif de l'effet. Le modèle de processus d'épuisement du soi suggère en effet que c'est un mécanisme motivationnel et attentionnel qui réduit la performance dans la tâche dépendante, et non une réduction des ressources disponibles. Ensuite, la crise de la réplication pourrait venir des tâches utilisées qui ne semblent pas solliciter suffisamment l'autocontrôle (e.g., tâche de barrage de « E ») ou la durée de la tâche d'épuisement qui est très souvent courte (i.e., moins de 10 minutes).

## **1.5. Et si l'effet d'épuisement ne disparaissait pas en 2021**

*(réponse à l'article de Vadillo 2019 intitulé « ego depletion may disappear by 2020 »)*

Afin de mieux comprendre l'épuisement du soi, il est important de définir les conditions nécessaires à l'apparition de ce phénomène. Trois facteurs principaux se distinguent : la motivation, la durée et la difficulté de la tâche d'épuisement.

### **1.5.1. La motivation**

Comme vu précédemment avec les différents modèles, la motivation à réaliser la ou les tâches semble être un facteur déterminant dans l'apparition du phénomène d'épuisement du soi. La motivation réfère « à toute sorte d'impulsion générale ou d'inclinaison à faire quelque chose »<sup>10</sup> (Baumeister & Vohs, 2007, p. 116). La motivation est par ailleurs présente dans l'ensemble des modèles qui s'intéressent à cet effet, ce qui suggère que c'est un point central du phénomène d'épuisement du contrôle de soi. L'effet de la motivation sur le phénomène

---

<sup>10</sup>“It refers to any sort of general drive or inclination to do something”

d'épuisement du soi peut être envisagé de deux façons : (1) la motivation à réaliser la tâche d'épuisement (ou contrôle) et (2) la motivation à réaliser la tâche dépendante.

#### Motivation à réaliser la tâche d'épuisement

Dans un premier temps, la motivation à réaliser la tâche d'épuisement (ou contrôle) semble être un facteur déterminant puisqu'elle va impliquer l'engagement dans la tâche (Hofmann et al., 2012). Un manque de motivation à réaliser cette première tâche du protocole des tâches séquentielles se traduira par un moins bon suivi des consignes et donc possiblement un épuisement du soi plus faible, voire absent. Il semble donc nécessaire que lors de la réalisation de cette première tâche, la motivation soit suffisamment élevée pour que le participant s'engage pleinement dans la tâche.

#### Motivation à réaliser la tâche dépendante

Dans un deuxième temps, la motivation à réaliser la tâche dépendante peut avoir un impact sur la présence ou non du phénomène d'épuisement du soi. Si la motivation à réaliser cette seconde tâche augmente (e.g., une somme d'argent est donnée en fonction de la performance) suite à la réalisation de la première tâche alors la performance dans la tâche dépendante sera similaire aux participants non épuisés (Muraven & Slessareva, 2003). Ce phénomène est par ailleurs cohérent avec la théorie de l'intensité de la motivation (Gendolla et al., 2012; Gendolla & Richter, 2010; Richter et al., 2016; Wright, 2014) qui stipule que si la motivation est suffisante, alors plus d'effort pourra être fourni dans la tâche. L'effort supplémentaire investi dans la tâche cachera l'effet d'épuisement du soi.

Selon le modèle de processus d'épuisement du soi (Inzlicht & Schmeichel, 2012), suite à la première tâche, les participants devraient avoir une motivation réduite pour réaliser la tâche dépendante. Or, cette baisse de motivation n'est pas systématiquement présente lorsqu'une baisse de performance est observée (Brown & Bray, 2017) ou associée à la fatigue mentale (Gergelyfi et al., 2015). Par exemple, Brown et Bray (2017) ont montré que les participants qui réalisent une tâche d'épuisement de plus de 6 minutes ont bien une baisse de performance comparativement à ceux qui ont réalisé une tâche de moins de 4 minutes, mais la motivation n'est pas différente dans les différents groupes. Cependant, dans une autre étude, la motivation à faire la tâche dépendante semble expliquer une part de la variance de la performance à cette même tâche (Boat et al., 2020). Dans cette étude, les participants réalisaient dans un premier

temps une tâche mentale qui n'épuisait pas (i.e., 4 minutes de Stroop congruent) ou qui épuisait pour différentes durées (i.e., 4, 8 ou 16 minutes de Stroop incongruent). Ensuite, les participants réalisaient tous une tâche d'endurance motrice (i.e., maintenir la position de la chaise<sup>11</sup>). Lors de cette tâche dépendante, la motivation à réaliser la tâche et à la poursuivre était mesurée toutes les 30 secondes. Les résultats indiquaient que les participants sont plus motivés à réaliser la tâche dépendante lorsqu'ils ont réalisé la tâche non épuisante au préalable comparativement à lorsqu'ils ont réalisé une tâche épuisante. De plus, dans la condition tâche d'épuisement de 16 minutes, les participants ont eu la plus grande baisse de motivation à continuer la tâche dépendante au cours de celle-ci. Cela semble indiquer que la motivation a un effet modérateur sur l'effet d'épuisement du soi.

Il est cependant nécessaire de faire une distinction entre la motivation extrinsèque et intrinsèque. Une augmentation de la motivation extrinsèque, venant d'une source extérieure, viendrait annuler l'effet d'épuisement du soi puisque les participants augmenteraient l'effort fourni (e.g., pour obtenir une récompense). En revanche, la motivation intrinsèque, en accord avec les différents modèles, devrait être réduite à la suite d'une tâche mentale épuisante, ce qui expliquera au moins en partie la baisse de performance dans la tâche dépendante.

En somme, la motivation est un facteur important à contrôler afin de répliquer l'effet d'épuisement du soi, aussi bien sur la tâche d'épuisement pour que le participant s'engage dans la tâche que sur la tâche dépendante puisque la motivation intrinsèque expliquerait une partie de la variance de l'effet.

### **1.5.2. La durée de la tâche**

L'une des conditions nécessaires à l'apparition du phénomène d'épuisement du contrôle de soi est le temps passé sur la tâche. Selon le modèle de la force de l'autocontrôle (Baumeister et al., 1998, 2007, 2018), plus la tâche dure longtemps et plus l'effet d'épuisement du soi sera important car plus de ressources auront été épuisées. Par ailleurs, et comme indiqué précédemment, les auteurs de ce modèle précisent que l'épuisement du soi, qui peut être

---

<sup>11</sup> Les épaules et les hanches sont appuyées contre un mur, le haut et le bas de la jambe fait un angle de 90°. La position ressemble donc à celle d'une chaise.

apparenté à de la fatigue mentale, existe sur un continuum. Ainsi, plus le temps passé sur la tâche sera long et/ou la tâche sera difficile et plus les participants devraient être fatigués.

La majorité des études sur l'épuisement du soi utilisent des tâches d'épuisement relativement courtes (i.e., moins de 9 minutes avec une moyenne d'environ 6 minutes selon les méta-analyses ; Giboin & Wolff, 2019; Hagger et al., 2010). Dans une étude (en inter-sujets) proposée par Wolff et al. (2019) qui faisait varier la durée de la tâche d'épuisement à 2, 4, 8, ou 16 minutes, les auteurs n'ont pas démontré d'effet du temps passé sur la tâche sur la performance. Dans cette étude, les participants réalisaient deux tâches mentales (i.e., un Stroop et une tâche de transcription), qui étaient contrebalancées. La première servait de tâche d'épuisement et la seconde de tâche dépendante. Ainsi, certains participants faisaient 2 minutes de Stroop puis 2 minutes de transcription, alors que d'autres faisaient les tâches dans le sens inverse. La même procédure était réalisée pour l'ensemble des durées (e.g., 8 minutes de transcription puis 8 minutes de Stroop). La tâche dépendante durait donc le même temps que la tâche d'épuisement. Cependant, dans le paradigme des tâches séquentielles, c'est la comparaison de la performance dans la tâche dépendante entre les conditions qui permet de mettre en évidence l'épuisement du soi. Or, dans l'étude de Wolff et al. (2019), la comparaison se fait sur des durées différentes. Des effets négatifs (i.e., fatigue, ennui, changement émotionnel) peuvent donc apparaître au cours de la tâche dépendante en fonction de la durée, ce qui biaiserait la comparaison des résultats.

Toutefois, deux autres études ont mis en évidence un effet du temps passé sur la tâche (Boat et al., 2020; Brown & Bray, 2017). Dans l'étude de Brown et Bray (2017), les participants regardaient un documentaire et / ou faisaient une tâche de Stroop. La tâche mentale durait systématiquement 10 minutes et était composée dans un premier temps du visionnage du documentaire puis de la tâche de Stroop pour une durée de 0 (uniquement le documentaire), 2, 4, 6, 8 ou 10 minutes de Stroop. À la suite de la tâche mentale, les participants faisaient une tâche d'endurance de serrage manuel à 50% de la force de contraction maximale volontaire. La performance sur la tâche dépendante était dégradée lorsque les participants réalisaient la tâche de Stroop pour 6 minutes ou plus, comparativement à 4 minutes ou moins. Cependant, aucun effet dose réponse (i.e., changement progressif de l'effet en fonction du temps passé sur la tâche) n'a pu être mis en évidence, uniquement un effet de seuil. Dans une autre étude (intra-sujet) proposée par Boat et al. (2020), les participants devaient réaliser une tâche de Stroop pour une durée de 4, 8 ou 16 minutes, ou un Stroop congruent pour une durée de 4 minutes (Boat et al., 2020). Une fois la tâche réalisée, les participants réalisaient la tâche d'endurance musculaire de

« la chaise » contre un mur. Les résultats ont permis de montrer que les participants tenaient moins longtemps lorsqu'ils avaient fait 4 ou 8 minutes de Stroop comparativement à 4 minutes de Stroop congruent (i.e., tâche contrôle), mais tenaient plus longtemps que lorsqu'ils avaient fait 16 minutes. Ici, un effet dose réponse apparaît hormis pour les durées de 4 et 8 minutes qui ne sont pas différentes entre elles. Ces deux études mettent en évidence que le temps passé sur la tâche semble avoir un impact sur la performance lors de la tâche subséquente. Il apparaît cependant que pour discriminer la baisse de performance, les durées que les auteurs font varier doivent être suffisamment grandes. En effet, lorsque l'écart est de 4 minutes ou moins l'effet d'épuisement du soi n'est pas systématiquement présent, comme c'est le cas entre 4 et 8 minutes dans l'étude de Boat et al., (2020) et entre 0 à 4 minutes ou 6 à 10 minutes dans l'étude de Brown et Bray (2017). A l'inverse une différence de durée suffisamment importante (e.g., 8 minutes) semble mettre en évidence l'effet d'épuisement du soi.

En plus de la baisse de performance observée ou non par ces trois études, d'autres mesures ont été faites. Notamment, la fatigue semble augmenter de manière proportionnelle au temps passé sur la tâche (Brown & Bray, 2017; Wolff, Sieber, et al., 2019), alors que la motivation semble être différente entre la session qui n'a pas de tâche épuisante et les sessions avec une tâche d'épuisement, indépendamment de la durée sur la tâche (Boat et al., 2020). Enfin, il y aurait aussi une plus grande perception de la douleur dans cette dernière étude lorsque la tâche d'épuisement est de 8 ou 16 minutes comparativement aux deux autres durées.

Dans l'étude de Blain et al. (2016) qui cherche à comprendre les mécanismes neuronaux engagés lors de l'autocontrôle et de la fatigue mentale, les participants réalisaient deux tâches mentales en les alternant toutes les minutes (i.e., N-switch et N-Back). A la fin de chaque bloc, les participants devaient faire un choix afin de recevoir une récompense monétaire immédiate ou différée, ce qui permettait de mesurer l'impulsivité. L'ensemble était répété pendant une durée d'environ 6h. Au début, au milieu et à la fin de l'expérience, les participants réalisaient les essais dans une machine d'imagerie à résonance magnétique fonctionnelle. Cette étude en neuro-imagerie a mis en évidence qu'à la suite d'une tâche d'épuisement longue, une baisse de l'excitabilité des aires du cortex préfrontal latéral était observée induisant une réduction de la capacité à résister à des tentations. Seulement cette baisse ne devient significative qu'après plusieurs heures passées sur la tâche. Toutefois, un effet dose réponse est apparu. D'un point de vue comportemental, ils ont pu montrer une différence dans l'impulsivité après 4.5 heures d'expérience. Cela intervient avec un délai bien plus long que ce que l'on observe classiquement dans la littérature sur l'épuisement du soi.

Nous pouvons aussi nous demander pourquoi l'étude de Wolff et al. (2019) ne permet pas de mettre en évidence un effet du temps passé sur la tâche. Dans les articles de Boat et al. (2020) et Brown et Bray (2017), la tâche dépendante est une tâche physique alors que dans l'étude de Wolff et al. (2019), il s'agissait d'une tâche mentale. Il est donc possible qu'une tâche physique soit plus discriminante qu'une tâche mentale en termes de performance. La différence principale ici est la mesure faite. Dans le cas des tâches physiques il s'agit d'une mesure de persistance. Nous avons donc un indicateur précis de la performance dans la tâche qui est le temps de maintien. En revanche dans le cas de la tâche mentale comme dans l'étude de Wolff et al. (2019), la performance n'est pas aussi précise puisqu'elle agglomère l'ensemble des essais de la tâche dépendante, et ces derniers ont une plus grande variabilité. La différence dans l'observation de l'effet d'épuisement du soi entre ces trois études peut donc venir de ce point.

Pour conclure, jusqu'à présent peu d'études se sont intéressées à l'effet de la durée de la tâche d'épuisement sur la performance dans la tâche dépendante. Cependant, il semble que ça soit un facteur important afin d'observer l'effet d'épuisement du soi, ce qui viendrait valider les modèles en ressources. Ces derniers font l'hypothèse qu'avec l'augmentation du temps passé sur la tâche d'épuisement, les ressources seront plus épuisées. Les études portant sur la durée de la tâche d'épuisement ont permis de mettre en évidence que lorsque la tâche dépendante est une tâche physique, alors la durée de la tâche d'épuisement semble avoir un effet (Boat et al., 2020; Brown & Bray, 2017). En revanche, lorsque la tâche dépendante est une tâche mentale, alors la manipulation de la durée de la tâche d'épuisement ne semble pas avoir d'impact (Wolff, Sieber, et al., 2019).

### **1.5.3. La difficulté de la tâche**

La difficulté de la tâche d'épuisement est un autre paramètre à prendre en compte. D'un point de vue théorique, plus la tâche d'épuisement sera difficile et plus l'effet d'épuisement du soi devrait apparaître et cela indépendamment du modèle que l'on considère.

Dans leur méta-analyse, Hagger et ses collègues (2010) se sont intéressés à la complexité de la tâche comme modérateur de l'effet en ciblant la complexité de la tâche dépendante. Pour cela, ils ont catégorisé comme 'simples' les tâches qui demandent un apprentissage par cœur, un rappel, ou une seule opération mathématique et comme 'complexes' les tâches qui

demandent un encodage, un maintien et une mise à jour en mémoire, ou encore plusieurs opérations mathématiques (Hagger et al., 2010, p. 507). Les résultats ont montré que les tâches dépendantes complexes avaient une taille d'effet supérieure aux tâches dépendantes simples ( $d = 0.65$  et  $d = 0.35$ , respectivement).

Cependant, très peu d'études se sont intéressées empiriquement à la difficulté de la tâche d'épuisement afin de mettre en évidence le phénomène d'épuisement du soi. Wimmer et al. (2019) ont fait varier la complexité de la tâche de barrage de « E » sur 5 niveaux de difficulté. Cette tâche est, selon la méta-analyse de Hagger et al. (2010) l'une des plus courantes. Dans le 1<sup>er</sup> niveau de difficulté, les participants devaient barrer tous les « E » que comportait un texte. Pour les quatre niveaux suivants, les participants devaient respecter de plus en plus de règles, augmentant ainsi la difficulté. Les résultats ont indiqué que lorsque la difficulté de la tâche d'épuisement augmente, alors les participants font plus d'erreurs et barrent moins de « E » dans cette tâche, ce qui suggère que la difficulté a été correctement manipulée. Cependant, les effets de la difficulté sur la tâche dépendante (i.e., une tâche de Stroop dans cette étude) ne sont pas significatifs. Ainsi, l'effet d'épuisement du soi ne semble pas, selon cette étude, être modéré par la difficulté de la tâche d'épuisement. Pour expliquer ce résultat, les auteurs ont proposé que la tâche de barrage de « E », bien qu'elle puisse être complexe, ne fasse pas intervenir l'autocontrôle.

Certaines études ont utilisé une tâche de Stroop modifiée comme tâche d'épuisement et une tâche de Stroop congruent (i.e., les participants ne font que lire les mots) comme tâche contrôle (Boat & Taylor, 2017; Bray et al., 2008; Silvestrini & Rainville, 2013). Dans ce cas, il est possible de considérer que la différence entre les deux tâches est une différence de difficulté. Certains auteurs précisent d'ailleurs dans leur méthodologie que ce n'est pas une condition contrôle, mais une condition « facile » en comparaison à la condition « difficile » (Boat & Taylor, 2017). Enfin, lorsque la difficulté de la tâche augmente, des réactions physiologiques (i.e., pression sanguine systolique et diastolique, rythme cardiaque et conductance de la peau) permettent de voir que l'effort investi dans la tâche augmente (Gendolla & Richter, 2005). L'ensemble de ces résultats suggère donc bien que la difficulté de la tâche d'épuisement est un facteur important de l'effet d'épuisement du soi.

Dans le cas de la tâche dépendante, lorsque l'idée de récompense est activée après avoir épuisé les participants dans une première tâche alors l'effet d'épuisement du soi disparaît, ce qui n'est pas le cas lorsque l'idée de récompense n'est pas activée (Boucher & Kofos, 2012).

L'idée d'avoir une récompense réduit la difficulté subjective de la tâche dépendante, et cette réduction de difficulté fait disparaître l'effet (Boucher & Kofos, 2012, étude 2), indiquant que la difficulté perçue est bien un facteur déterminant à l'observation de l'effet.

Pour conclure, la difficulté de la tâche semble être, théoriquement, un facteur important pour d'observer le phénomène d'épuisement du soi. Toutefois, la difficulté subjective est plus déterminante que la difficulté objective. Pour qu'une tâche soit perçue comme difficile, il est nécessaire que plusieurs fonctions exécutives soient engagées simultanément, dont l'inhibition contrôlée.

## **1.6. Trois modérateurs et un médiateur de l'effet d'épuisement du soi**

Il est possible de trouver dans la littérature plusieurs médiateurs et modérateurs de l'effet d'épuisement du soi. C'est notamment le cas du trait d'autocontrôle, de la conception expérimentale, de la douleur ressentie et de l'effort perçu.

Selon Baron et Kenny (1986), un médiateur est une variable par laquelle une variable indépendante agit sur une variable dépendante. Un modérateur est une variable qui va influencer / moduler l'effet de la variable indépendante sur la variable dépendante. Par exemple, si la sensation de fatigue est un médiateur de la baisse de performance après l'utilisation de l'autocontrôle, cela veut dire que l'autocontrôle crée la sensation de fatigue, et que cette sensation de fatigue explique l'épuisement du contrôle de soi (Figure 3A). En revanche si c'est un modérateur de l'effet, alors cela veut dire que l'utilisation de l'autocontrôle explique l'épuisement du contrôle de soi, mais que la fatigue va rendre cet épuisement encore plus important (Figure 3B).



et ils mesurent le même construit avec une corrélation entre ces trois questionnaires de  $r \approx .60$  (Allom et al., 2016).

Plusieurs études montrent un lien entre l'autocontrôle trait et les aspects de la vie courante. Par exemple, le trait d'autocontrôle est corrélé avec les résultats scolaires, l'estime de soi, l'abus de substance ou de nourriture, avec l'adhésion à l'activité physique quotidienne, la prise de risque, etc. (Allom et al., 2016; Duckworth & Seligman, 2005; Englert, 2017; Freeman & Muraven, 2010; Tangney et al., 2004). Le trait d'autocontrôle serait par ailleurs un meilleur prédicteur que le quotient intellectuel pour prédire la performance scolaire en expliquant deux fois plus de variance (Duckworth & Seligman, 2005). De même, les individus ayant un trait d'autocontrôle plus élevé semblent moins affectés par les situations qui sollicitent l'autocontrôle (Lindner et al., 2018).

Il a été montré une corrélation positive entre le trait d'autocontrôle et l'effet d'épuisement du soi (DeWall et al., 2007; Gailliot et al., 2006; Lindner et al., 2018; Schmeichel & Zell, 2007). Cette corrélation est par ailleurs soutenue par une étude en neuro-imagerie (Wolff, Schüler, et al., 2019) qui a montré que les participants avec un trait d'autocontrôle élevé avaient une plus faible augmentation de la perception d'effort cognitif ainsi qu'une plus faible augmentation de l'oxygénation du cortex préfrontal que les participants avec un faible trait d'autocontrôle lors de la réalisation d'une tâche sollicitant l'autocontrôle. Cependant, d'autres études ne mettent pas en évidence l'effet du trait d'autocontrôle comme médiateur de l'effet d'épuisement du soi (Stillman et al., 2009) ou encore observe une corrélation inverse (Dvorak & Simons, 2009; Imhoff et al., 2014; Lindner et al., 2017). Lindner et al. (2017) ont montré que les participants ayant un trait d'autocontrôle plus élevé ont de meilleures performances au début de la tâche, mais subissent davantage l'effet du temps passé sur la tâche, alors que ceux ayant un faible trait d'autocontrôle présentent une performance plus faible, mais n'ont pas de dégradation au cours du temps passé sur la tâche. Il est possible que l'effet observé soit une régression vers la moyenne. Autrement dit, les individus avec un trait autocontrôle élevé ayant une performance quasiment maximale en début de tâche ne peuvent pas améliorer leur performance. Ils peuvent soit conserver la même performance soit dégrader leur performance au cours de la tâche. Ce constat corrobore l'étude de Imhoff et al. (2014) qui a mis en évidence que les participants ayant un trait d'autocontrôle élevé subissaient significativement plus l'effet d'épuisement du soi, aussi bien sur la prise de risque que sur la consommation de sucreries.

Enfin dans une troisième expérience, Imhoff et al. (2014) ont montré une corrélation positive entre l'échelle d'autocontrôle (l'échelle courte d'autocontrôle ; Tangney et al., 2004) et des questions portant sur l'autocontrôle dans la vie quotidienne. Les individus possédant un trait d'autocontrôle élevé ont plus de facilité à accomplir des tâches quotidiennes demandant de se contrôler. Cela rejoint les résultats obtenus par Allom et al. (2016) qui montrent une corrélation positive entre les trois échelles d'autocontrôle utilisées et l'engagement et le maintien de l'activité physique au quotidien (mesure auto-rapportée).

Il semblerait que la mesure du trait d'autocontrôle évalue un construit plus complexe que la capacité maximale de l'autocontrôle des individus (Freeman & Muraven, 2010). Les échelles renverraient davantage à la capacité d'adhésion à des tâches telles que l'activité physique (Allom et al., 2016; Englert, 2017) ou encore la capacité de mise en place de processus ou de stratégies pour éviter de s'engager dans des tâches demandant de se contrôler (Ent et al., 2015). Ceci pourrait expliquer en partie les corrélations négatives observées dans certaines études (Dvorak & Simons, 2009; Imhoff et al., 2014; Lindner et al., 2017). Cependant, la plus grande partie des études va dans le sens d'un lien positif entre le trait d'autocontrôle et l'épuisement du soi. Plus les participants ont un trait d'autocontrôle élevé et mieux il résiste à cet épuisement. Ainsi le trait d'autocontrôle serait un modérateur de l'effet d'épuisement du soi.

### **1.6.2. La conception expérimentale**

Les expériences associées à l'épuisement du soi utilisent principalement le protocole des tâches séquentielles décrit dans la section 1.3.2.1. Cependant, deux méthodologies sont utilisées : (1) soit les participants font partie du groupe traité (tâche d'épuisement) ou du groupe contrôle (tâche sans épuisement), puis ils réalisent la tâche dépendante (i.e., conception inter-sujet), (2) soit les participants réalisent les deux conditions (tâche d'épuisement et tâche contrôle) (i.e., conception intra-sujet). Dans ce cas, lors d'une première session ils feront la tâche d'épuisement puis la dépendante et dans une autre session la tâche contrôle puis la dépendante.

En utilisant la conception inter-sujets, il est possible de gagner du temps d'expérimentation en ne faisant qu'une seule session par participant avec soit la tâche contrôle soit la tâche expérimentale puis la tâche dépendante. C'est d'ailleurs cette conception qui est la plus utilisée dans l'étude de l'épuisement du soi (Englert et al., 2015; Etherton et al., 2018;

Garrison et al., 2019; Hagger et al., 2016; Muraven, Shmueli, et al., 2006; Wolff, Sieber, et al., 2019). Il est cependant nécessaire de s'assurer que les groupes sont équilibrés sur tous les facteurs qui pourraient influencer l'apparition du phénomène tels que l'heure de la journée (Millar, 2017), l'adéquation entre l'heure et la préférence circadienne (Curtis et al., 2014), le trait d'autocontrôle (Gailliot et al., 2006), ou encore la théorie que l'on a envers l'autocontrôle (Job et al., 2010). Avec un nombre de participants suffisamment élevés, la distribution aléatoire des participants dans les groupes devrait permettre de les équilibrer, mais il reste toujours une probabilité non nulle qu'ils ne le soient pas.

La solution qui permet d'éviter ce déficit d'équilibre potentiel entre les groupes est la conception intra-sujet (e.g., Boat et al., 2020). Moins d'études ont choisi ce protocole car il est plus coûteux en termes de temps par participant ce qui augmente la mortalité expérimentale ainsi que la difficulté de recrutement. De plus, un effet d'entraînement aux tâches peut apparaître avec ce type de protocole puisque les participants vont réaliser plusieurs fois la même tâche (Francis et al., 2018). En expérimentant l'ensemble des conditions, les participants peuvent comprendre les hypothèses et fausser les résultats (Charness et al., 2012). Un défaut de cette conception est qu'elle requiert que les participants viennent à plusieurs séances espacées dans le temps afin d'administrer à une séance la tâche contrôle et à une autre la tâche expérimentale. Si les participants réalisent l'ensemble des tâches au cours d'une même session, alors les participants qui auront réalisé la tâche expérimentale en premier seront épuisés et les résultats lors de la tâche contrôle ne reflèteront pas réellement leur performance. De plus, la tâche dépendante, qui sollicite aussi l'autocontrôle, épuisera les participants ce qui aura un impact sur la suite de l'étude. Il serait donc nécessaire de laisser un temps suffisant au participant pour récupérer. Or, les conditions précises de la récupération après l'épuisement du soi ne sont pour l'instant pas clairement identifiées. Cependant, la conception intra-sujet permet d'obtenir une puissance supérieure avec moins de participants, et cela notamment grâce à la corrélation entre les mesures (May & Hittner, 2012).

Une autre possibilité de protocole est de faire un mélange des deux solutions avec un protocole inter-intra-sujet. Dans ce type de protocole, les participants réalisent la tâche dépendante dans une première session ou en début d'une session unique qui sert donc de ligne de base. Suite à cela ils réalisent la tâche contrôle ou expérimentale selon leur groupe d'appartenance, puis enfin de nouveau la tâche dépendante (Brown & Bray, 2017; Xu et al., 2014). Ce type de conception souffre des mêmes défauts que la conception inter-sujet (équilibre des groupes) ainsi que de la conception intra-sujet (plus de temps, effet d'apprentissage).

Cependant, avec une corrélation entre les mesures pré et post, cette conception permet de gagner en puissance statistique comparativement à une conception uniquement inter-sujet.

La méta-analyse de Brown et al. (2020) s'est intéressée à cette question en examinant la littérature sur l'épuisement du soi et la fatigue mentale. Les auteurs ont trouvé une différence entre les deux types de protocoles. La conception inter-sujet semble avoir une taille d'effet plus élevée ( $g = 0.65$ ) que la conception intra-sujet ( $g = 0.28$ ), bien que les deux permettent de mettre en évidence le phénomène de baisse de performance. Cependant, dans cette méta-analyse, les auteurs ne se sont intéressés qu'aux études utilisant une tâche dépendante adoptant une tâche physique. Toutefois, les tâches dépendantes utilisant des tâches mentales devraient faire apparaître les mêmes effets. Ainsi, bien qu'en termes de puissance les études en conception intra-sujet soient théoriquement supérieures, les données indiquent que l'effet est plus important (et donc plus facilement observable) lors de conception inter-sujet. Cet avantage pour les études inter-sujets peut provenir d'un défaut de conception dans les études intra-sujets ne prenant pas en compte l'effet d'apprentissage avec la répétition des mesures. Il semble donc nécessaire, lors des études intra-sujets, de faire une ou plusieurs sessions d'apprentissage avant le début des manipulations expérimentales. Le design expérimental a son importance dans l'observation de l'effet et constitue un modérateur en influençant la taille de l'effet.

### **1.6.3. La douleur ressentie**

La douleur ressentie est une variable essentiellement étudiée dans le domaine de la psychologie de l'exercice. La douleur peut être définie comme « une expérience émotionnelle et sensorielle non plaisante associée à des dommages tissulaires réels ou potentiels, ou décrits en termes de tels dommages »<sup>15</sup> (Cohen et al., 2018, p.2). La résistance à une douleur demande un contrôle de soi afin de maintenir la tâche et ne pas arrêter malgré la sensation non plaisante. Ainsi, avoir au préalable sollicité les capacités à se contrôler devrait réduire la capacité à contrôler la douleur. Cela peut se traduire par une moindre persévérance dans une tâche qui induit de la douleur, ou une perception plus élevée de la douleur, ou encore l'interaction des deux effets (Schmeichel & Vohs, 2009; Silvestrini & Rainville, 2013). Dans l'étude menée par Schmeichel et Vohs (2009), après avoir réalisé une tâche d'épuisement, les participants

---

<sup>15</sup> “An unpleasant sensory and emotional experience associated with actual or potential tissue damage, or described in terms of such damage”

maintenaient moins longtemps leur main plongée dans une eau circulant très froide (environ 1°C) comparativement à la réalisation d'une tâche contrôle. Dans l'étude de Silvestrini et Rainville (2013), les participants réalisaient une série d'essais de Stroop numérique ou la tâche contrôle, puis une stimulation électrique douloureuse leur était administrée (Silvestrini & Rainville, 2013). Lorsque la stimulation électrique était précédée d'essais de Stroop numérique (incongruent), elle était évaluée comme plus intense, mais aussi comme plus désagréable comparativement à la condition contrôle dans laquelle les mots étaient neutres (e.g., « drap » ou « table »).

Cependant, dans les études citées, la douleur était induite par les expérimentateurs. Peut-on penser que ce phénomène sera le même lorsque la douleur n'est pas induite, mais produite par l'activité qui sert à mesurer l'épuisement du contrôle de soi ? Les tâches d'endurance physique peuvent induire de la douleur musculaire (O'Connor & Cook, 2001). Ainsi, lorsque des tâches physiques sont utilisées (e.g., tâche d'endurance de serrage manuel ou la tâche de la chaise), la douleur perçue devrait être plus intense dans un temps plus court. Si c'est le cas, lors de l'utilisation de ce type de tâche dépendante, la douleur perçue sera un modérateur de l'effet d'épuisement du soi. En effet, les participants qui sont épuisés vont ressentir la douleur de manière plus intense et c'est cette perception plus intense qui les fera arrêter plus rapidement la tâche. Dans leur étude, Boat et al. (2020) ont montré que plus la tâche d'épuisement était longue et plus cela augmentait la douleur perçue au début de la tâche dépendante. Dans le même temps, plus la tâche d'épuisement était longue et moins les participants performaient lors de la tâche dépendante. Il est donc possible que la douleur perçue au début de la tâche dépendante ait influencé directement la performance de celle-ci. En comparant les différents modèles statistiques, avec et sans douleur, les auteurs mettent en évidence que la douleur perçue au début de la tâche explique bien une part de la variance du phénomène d'épuisement du soi, indiquant qu'elle est un modérateur de l'effet.

#### **1.6.4. La perception de l'effort**

Lors de la section 1.2.3 de ce document, l'effort mental a été défini comme : « la mobilisation de ressources afin de réaliser un comportement ayant un objectif » (Gendolla & Richter, 2010). Cependant, une distinction doit être faite entre l'effort mental réel et l'effort mental subjectif. L'effort mental subjectif est l'expérience consciente et mesurée des coûts à continuer une tâche dans laquelle nous sommes engagés (Kurzban et al., 2013). L'effort

subjectif va donc dépendre de plusieurs facteurs et notamment les coûts de la tâche, mais aussi des possibles récompenses à réaliser la tâche (Westbrook et al., 2013). Plus la récompense sera importante et moins la tâche demandera subjectivement un effort. Une formule a été proposée à ce propos pour expliquer l'effort subjectif : « Effort Subjectif = Demande Objective – Récompense Immédiate » (Francis & Inzlicht, 2016, p.384). L'effort subjectif résulte donc de la demande objective de la tâche qui doit être réalisée, mais cet effort subjectif est minimisé par la récompense que l'on peut avoir pour cette tâche. A difficulté égale, donc qui demande le même effort mental objectif, une récompense importante diminuera l'effort subjectif des participants pour réaliser une tâche. Par ailleurs, d'autres biais tels que l'influence de l'autoreprésentation ou les difficultés à l'introspection semblent intervenir dans le découplage entre l'effort mental réel, que l'on peut mesurer physiologiquement (e.g., pupillométrie, conductance de la peau, variabilité de la fréquence cardiaque), et l'effort mental subjectif qui est auto-rapporté (Gendolla et al., 2012; Moore & Picou, 2018). Ainsi, l'effort mental subjectif est ce que l'individu ressent avoir exercé pour réaliser une tâche et n'est pas forcément l'effort réel qu'il a pu investir.

Selon la théorie de l'intensité de la motivation (Richter et al., 2016), la fatigue mentale ressentie lors d'une tâche va augmenter la difficulté perçue de la tâche et par conséquent l'effort subjectif à investir pour réaliser une performance similaire. Cette prédiction a pu être vérifiée dans différentes études. Par exemple, Jacquet et al. (2021) ou encore Pageaux et al. (2013) ont montré qu'une tâche mentale d'épuisement longue (e.g., imagerie motrice) augmentait non seulement la fatigue ressentie, mais également la perception de l'effort mesurée tout au long de la tâche dépendante (e.g., contraction isométrique des muscles de la jambe à 50% de la contraction maximale volontaire). Ainsi, la perception de l'effort induite par la fatigue mentale serait un médiateur de la baisse de performance dans les tâches dépendantes d'endurance physique (Pageaux & Lepers, 2018). La sollicitation de l'autocontrôle dans une tâche mentale induirait donc de la fatigue mentale et augmenterait la perception de l'effort à fournir pour réaliser la tâche dépendante. Cette augmentation de la perception de l'effort réduirait les performances lors de cette tâche. Cependant, il se pourrait que l'augmentation de l'effort subjectif investi ne soit pas un médiateur du phénomène d'épuisement du soi, mais un indicateur supplémentaire de ce phénomène qu'il est possible de mesurer au cours de la tâche dépendante.

## **1.7. Conclusion générale : l'effet existe mais est mal défini**

L'autocontrôle, comme nous l'avons vu, est un élément essentiel de la vie quotidienne puisqu'il agit sur différents aspects, tels que la réussite scolaire, les interactions sociales ou encore les performances sportives. Cependant, il existe actuellement toujours des débats sur le mécanisme qui expliquerait le mieux le phénomène d'épuisement du soi. Le modèle de la force de l'autocontrôle (Baumeister et al., 1998, 2007, 2018) a été le premier à essayer d'expliquer le phénomène. Il a par la suite été challengé, notamment par le modèle en processus d'épuisement du soi (Inzlicht et al., 2014; Inzlicht & Schmeichel, 2012). Il existe aussi un débat sur l'existence même de l'effet d'épuisement du soi, soulevé tout d'abord par les méta-analyses, mais aussi par les échecs des études de réplication. Ce problème de réplication peut venir de la sélection de tâches d'épuisements ne permettant pas d'induire un effet d'épuisement du soi suffisant, ou encore de l'absence de contrôle des variables qui viendrait masquer l'effet. Malgré cela, nous pensons que l'effet d'épuisement du soi existe, mais que les conditions nécessaires sont mal définies.

## **1.8. Objectifs de la thèse**

Nous avons pris en compte les critiques et limites de la littérature concernant la difficulté ou la durée de la tâche d'épuisement, mais aussi la motivation et les modérateurs de l'effet d'épuisement du soi.

En intégrant l'ensemble de ces éléments, nous avons pour objectif dans un premier temps de répliquer le phénomène d'épuisement du soi en nous plaçant dans les meilleures conditions pour voir apparaître l'effet. Pour cela, nous avons choisi une tâche sollicitant fortement l'autocontrôle (i.e., tâche de Stroop modifiée) et une tâche dépendante d'endurance physique régulièrement utilisée dans la littérature (i.e., tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement). Nous avons aussi choisi de faire durer la tâche d'épuisement pour une durée de 30 minutes, au croisement des littératures issues de la psychologie sociale et de la psychologie de l'exercice. Afin de contrôler les effets indésirables des variables qui pourraient masquer l'effet, nous avons pris soin de les mesurer. Enfin, nous avons aussi décidé d'étudier les modérateurs et médiateurs potentiels de l'effet d'épuisement du soi afin de déterminer lesquels sont réellement pertinents dans l'apparition ou non du phénomène.

L'objectif secondaire de cette thèse est de mettre en évidence que la durée de la tâche d'épuisement est un facteur important dans l'apparition de l'effet d'épuisement du soi puisque cela devrait augmenter la fatigue perçue et par conséquent détériorer la performance.

# ÉTUDES EXPÉRIMENTALES

## 2.1. Manipulation pré-expérimentale

Avant de démarrer les expérimentations qui avaient pour but de répliquer l'effet d'épuisement du soi, nous avons réalisé des études préliminaires afin de choisir la tâche d'épuisement et la tâche dépendante. Pour cette dernière, nous avons choisi une tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement (voir section 2.2.3.2). Cette tâche est fréquemment utilisée dans les études s'intéressant à l'effet d'épuisement. Cela représente par exemple 22% des études dans la méta-analyse de Hagger et al. (2010). Cependant, différentes versions de cette tâche sont utilisées. Certaines études, comme la nôtre, utilisent un pourcentage de la contraction maximale volontaire (CMV) pour fixer la force qu'il faut maintenir jusqu'à épuisement (Brown & Bray, 2017; Graham et al., 2014; Graham & Bray, 2015; Stork et al., 2017; Xu et al., 2014). Dans ce cas, la force cible est proportionnelle aux capacités du participant. D'autres études n'utilisent pas un pourcentage de la CMV des participants comme force cible, mais une force fixe (i.e., la même pour tous les participants) (Nealis et al., 2016; Yusainy & Lawrence, 2015). L'inconvénient de cette méthodologie est qu'une même force absolue est difficilement atteignable pour un individu, alors qu'elle peut être trop facile pour un autre. Nous avons donc préféré utiliser un pourcentage de la CMV qui permet une homogénéisation de la difficulté sur l'ensemble des participants. Parmi les études qui utilisent cette stratégie, certaines ont utilisé 50% de la CMV (Brown & Bray, 2017; Graham et al., 2014; Graham & Bray, 2015; Stork et al., 2017) ou d'autres 70% de la CMV (Xu et al., 2014). Cependant, la durée de maintien lors de ces tâches est relativement courte, allant de 25 secondes lorsque la force cible est à 70% de la CMV à 83 secondes lorsqu'elle est à 50% de la CMV. Ces durées de performance sont donc plus proches de celles d'un sprint sur 200 à 500 mètres que d'une course d'endurance. Nous souhaitons avoir une tâche durant laquelle les participants ne sont pas simplement limités par des contraintes musculaires, mais bien une tâche d'endurance dans laquelle, même si des limites musculaires existent, il soit possible de continuer à produire une force de contraction grâce à des qualités psychologiques telles que la persévérance, malgré la fatigue musculaire et/ou la douleur.

Nous avons donc réalisé des tests préliminaires afin de déterminer quel pourcentage de CMV permettrait d'être vraiment dans une tâche d'endurance, sans toutefois que ça ne soit trop simple et que la tâche ne dure pas trop longtemps. Suite à plusieurs tests entre 10 et 20% de la CMV, il s'est avéré que 13% de CMV était le compromis idéal. En dessous de cette valeur (à 10%), les participants pouvaient maintenir la poignée pendant une durée très élevée (i.e., plus

de 20 minutes), et au-dessus de 15% le temps de maintien était trop court (i.e., moins de 3 minutes). Pour la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement, nous avons donc choisi 13% de la CMV comme force de serrage cible avec une marge de tolérance de  $\pm 1\%$  (voir section 2.2.3.2).

## **2.2. Méthodologie générale**

Les études présentées dans ce document suivent toutes un protocole similaire. Seules des modifications mineures viennent les différencier. Je vais donc dans un premier temps détailler la méthodologie générale et j'expliquerai les différences lors de la présentation de chaque étude. Dans le cadre de ma thèse, les études suivent le paradigme des tâches séquentielles. Ainsi le participant réalise une première tâche à forte charge cognitive qui a pour but d'induire un état d'épuisement du soi ou une tâche contrôle à faible charge cognitive. Puis, il réalise une seconde tâche qui permet de mesurer l'épuisement du soi induit ou pas par la première tâche.

### **2.2.1. Protocole général**

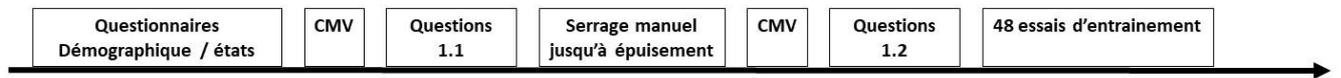
Chaque étude était composée de 2 à 5 sessions espacées au minimum de 48 heures et au maximum de 1 mois. Les participants venaient à chaque fois de manière individuelle. Au début de la première session, les participants complétaient un questionnaire socio-démographique, réalisaient le test d'Ishihara (1918) afin de s'assurer qu'ils n'étaient pas daltoniens (dyschromatopsie), complétaient un questionnaire portant sur leurs habitudes de vie en termes de consommation de substances psychotropes, de sommeil et de prise de médicaments, et enfin un questionnaire sur leur état physique nous assurant qu'ils étaient dans un état de santé leur permettant de réaliser les tâches demandées. De plus, au début de chaque session, ils répondaient à un questionnaire portant sur leur état au moment de commencer la passation. Ce questionnaire permettait notamment de déterminer leur consommation de cigarette, de caféine, de drogues, de somnifères, d'anxiolytiques et de médicaments juste avant de venir, ainsi que leur temps de sommeil la nuit précédente. Ce questionnaire permettait également de savoir s'ils avaient pratiqué une activité physique juste avant de venir, et enfin s'ils avaient vécu un événement traumatisant dans les 24 dernières heures précédant la session expérimentale (voir annexe 3). Si un événement particulier qui pouvait induire un biais dans la session était détecté (e.g., rupture sentimentale le matin même ; réalisation d'un exercice épuisant juste avant de

venir), alors la session était repoussée ultérieurement selon des disponibilités du participant. Lorsqu'il n'était pas possible de planifier une session de remplacement, le participant était exclu de l'étude.

Lors de la première session (Figure 4A), après avoir répondu aux différents questionnaires présentés précédemment, les participants répondaient à deux questions (Q1.1 ; pour le détail voir section 2.2.4.1) concernant leur motivation à réaliser la tâche qui allait suivre (i.e., la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement) et leur état de fatigue à cet instant donné sur des échelles visuelles analogiques (EVA, Brown & Bray, 2017; Wewers & Lowe, 1990). Ils réalisaient ensuite une série de contraction maximale volontaire (CMV) permettant de définir leur force maximale. Celle-ci permettait de définir la force cible lors de la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement afin que celle-ci représente 13% ( $\pm 1\%$ ) de la CMV. Pendant que l'expérimentateur réglait les paramètres sur l'ordinateur, le participant se familiarisait avec l'échelle d'effort CR100 (Borg & Kaijser, 2006) et l'échelle de douleur de Cook (O'Connor & Cook, 2001) qui permettent d'indiquer la sensation d'effort et de douleur lors de la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement (voir section 2.2.3.3 pour plus de détails). Suite à cela le participant réalisait la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement. Immédiatement après, il réalisait à nouveau une série de CMV afin de constater une baisse de force liée à la fatigue musculaire induite par la tâche précédente. Ensuite, les participants répondaient à de nouvelles questions (Q1.2). Enfin pour finir cette première session, les participants réalisaient un entraînement à la tâche mentale composé de 48 essais.

Lors des sessions expérimentales (Figure 4B), suite au questionnaire concernant leur état, les participants répondaient à des questions (Q2.1) sur la motivation à faire la tâche qui allait suivre (i.e., la tâche mentale) et sur leur fatigue ressentie à cet instant, puis réalisaient une série de CMV. Ensuite les participants réalisaient la tâche mentale pendant 30 minutes (voir section 2.2.2), puis répondaient de nouveau à des questions (Q2.2). Deux CMV étaient par la suite réalisées suivies de la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement, elle-même suivie immédiatement par une série de CMV. La session se terminait par des questions (Q2.3). Ces questions étaient suivies par une échelle d'autocontrôle trait (Tangney et al., 2004), un questionnaire de croyance en l'autocontrôle (Job et al., 2010), et un questionnaire de sensibilité à l'épuisement du soi (Salmon et al., 2014), (voir section 2.2.4.2 pour plus de détails). Lorsque plus de deux sessions étaient réalisées, alors ces trois questionnaires étaient passés uniquement lors de la dernière session.

## A) Première session



## B) Seconde session

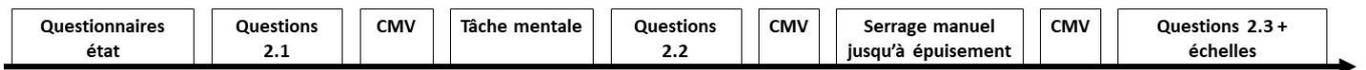


Figure 4 : Protocole général de la thèse. En A, la session ligne de base pour la première étude, et la session entraînement pour les études 3 et 4. En B, la seconde session de l'étude 1 et le déroulé d'une session expérimentale (contrôle ou d'épuisement) pour les études 3 et 4.

### 2.2.2. Tâches mentales

La tâche d'épuisement que nous avons sélectionnée est une tâche cognitive de Stroop modifiée. Lors de cette tâche, les participants sont assis à environ 50 cm devant un écran d'ordinateur. Deux micros sont placés devant leur bouche. Le premier sert à enregistrer la réponse orale du participant et se présente sous la forme d'un micro-casque posé sur la tête du participant. Le deuxième sert à enregistrer les temps de réaction vocaux du participant et est posé sur la table à côté du participant. Lors de cette tâche cognitive, la présentation des stimuli et l'enregistrement des temps de réponse et de la réponse orale se faisaient via le logiciel E-Prime 2.0 (Psychological Software Tools, Pittsburg, PA).

Nous avons sélectionné la tâche de Stroop (Stroop, 1935) car selon la méta-analyse de Hagger et al., (2010) c'est une tâche d'épuisement efficace avec une taille d'effet de  $d = 0.40$  sur l'épuisement du soi. Cependant, il a été montré que la pratique prolongée de nomination de couleur incongruente réduit l'amplitude de l'effet d'interférence du Stroop (Davidson et al., 2003; Dulaney & Rogers, 1994; MacLeod & Dunbar, 1988; Stroop, 1935). Cet effet de diminution de l'interférence est très rapide. Il se produit en moins de 200 essais (Chen et al., 2013). Ainsi, sur une tâche longue de 30 minutes comme nous l'avons fait dans nos différentes études, les participants ont moins, ou n'ont plus du tout, à se contrôler pour réaliser la tâche après un court laps de temps (5-6 minutes environ). Pour palier à cet effet d'apprentissage et

afin d'éviter que la nomination de couleur ne devienne pas une réponse dominante, nous avons choisi une tâche dans laquelle 100% des mots de couleur présentent une incongruence avec la couleur de l'encre, mais dans 50% des essais le participant doit lire le mot et dans les 50% d'essais restants, il doit nommer la couleur de l'encre (Dulaney & Rogers, 1994). L'ordre des essais de lecture ou de nomination était aléatoire et la règle à appliquer (i.e., lecture ou nomination de la couleur de l'encre) était annoncée par un signal préparatoire présenté au début de chaque essai. Cet aménagement de la tâche a aussi eu pour avantage de la rendre plus couteuses attentionnellement avec une mise en jeu de la flexibilité cognitive (i.e., changement de règle d'un essai à un autre dans environ 50% des essais). De plus, la réponse aux stimuli se faisait oralement, ce qui permettait de créer un effet d'interférence plus important qu'en répondant en appuyant sur des touches (MacLeod, 1991). En effet, la lecture vocale est une réponse automatique qu'il est plus difficile d'inhiber qu'une réponse manuelle associée arbitrairement à un mot de couleur.

La tâche de Stroop modifiée (Figure 5) se déroulait de la manière suivante : une croix de fixation était présentée au milieu de l'écran avec autour un signal préparatoire pour une durée de 50 ms. Ce signal préparatoire pouvait être un carré ou un cercle. Après ce délai, uniquement la croix de fixation restait à l'écran pendant 400 ms. Enfin, un mot était alors présenté à l'écran pour une durée maximale de 1250 ms. Cependant, si le participant répondait avant la fin de l'essai une croix de fixation remplaçait le mot jusqu'à la fin des 1250 ms. A la fin de ce temps, une croix de fixation était présentée pendant 300 ms. Ainsi, chaque essai durait précisément 2 secondes, ce qui nous permettait de contrôler que le temps sur la tâche soit exactement le même pour tous les participants. Le tout premier essai de la série n'avait pas de croix de fixation avant le signal préparatoire. Un décompte était fait à l'oral avant de lancer la tâche pour que le participant se tienne prêt. Les mots présentés à l'écran étaient les noms de couleur « rouge », « vert », « bleu » et « jaune ». Ils étaient systématiquement écrits dans une couleur différente de celle indiquée par le sens du mot. Par exemple « rouge » était écrit en bleu, vert ou jaune. Si les participants voyaient un carré comme signal préparatoire, alors ils devaient lire le mot. En revanche, s'ils voyaient un cercle, ils devaient nommer la couleur de l'encre.

Concernant les tâches mentales qui servaient de tâche contrôle, elles seront présentées dans la méthodologie associée à chaque étude.

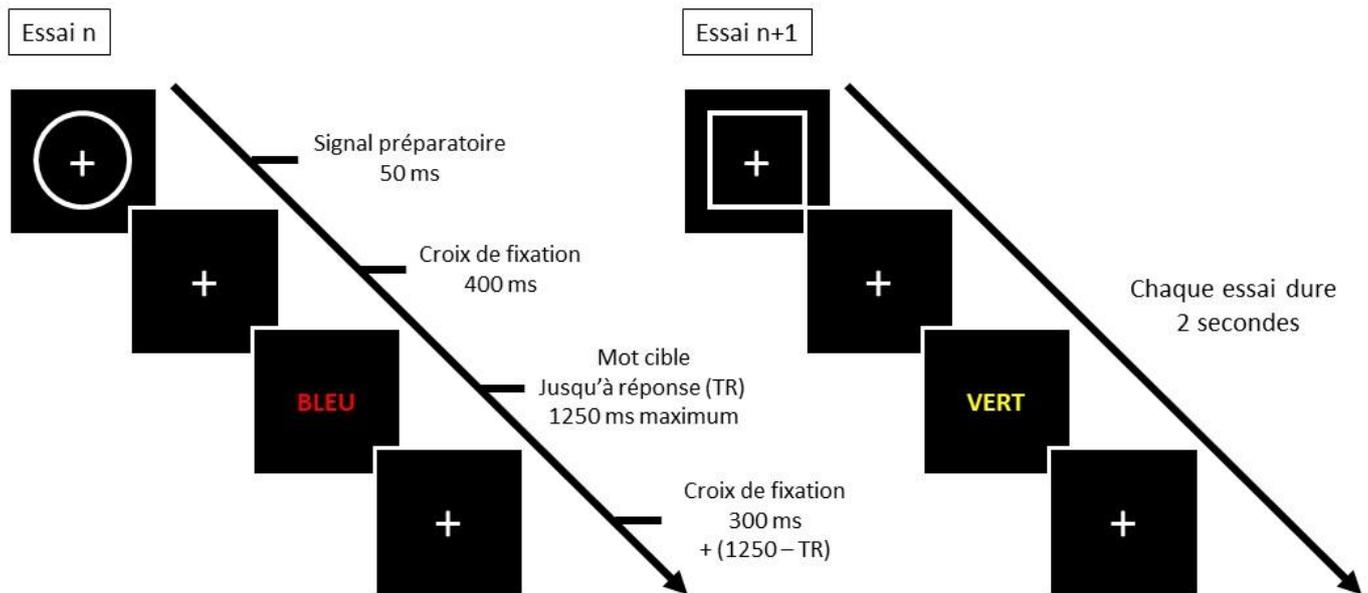


Figure 5. Illustration du déroulé temporel lors de la tâche de Stroop.

## 2.2.3. Tâches de serrage de la poignée dynamométrique

### 2.2.3.1. Contraction maximale volontaire

Au début de chaque étude (sauf la 2), les participants réalisaient une tâche de contraction maximale volontaire (CMV). Cette tâche avait plusieurs objectifs dont le premier était de déterminer la force de contraction maximale volontaire d'un participant et ainsi de permettre de fixer la valeur de la force cible qui sera utilisée dans la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement (voir section 2.2.3.2). Le deuxième objectif était de mesurer la baisse de force musculaire des participants suite à la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement. En effet, suite à une tâche physique jusqu'à épuisement, on doit observer une baisse significative de la force maximale impliquant le même groupe musculaire. Le troisième objectif était de voir si cette baisse de force musculaire pouvait être affectée par la fatigue cognitive induite par la tâche d'épuisement. En effet, on pourrait s'attendre à ce que l'effort maximal produit soit plus faible après la tâche d'épuisement en comparaison à après la tâche contrôle.

Lors de la CMV, les participants devaient serrer le plus fort possible la poignée dynamométrique (Biopac TSD121C) pendant 3 secondes. Les CMV se faisaient dans une position standardisée. L'angle que forment le bras et l'avant-bras devait être de 90 degrés ; l'avant-bras devait rester positionné sur l'accoudoir ou dans la gouttière fixée sur l'accoudoir,

et le poignet devait rester droit. Enfin, la poignée de serrage (i.e., la poignée dynamométrique) devait conserver le même angle entre chaque répétition. Un repère sur la poignée était donné aux participants afin de les aider à respecter cette consigne.

Au début de la première session, les participants réalisaient une série de CMV. Afin que celle-ci puisse atteindre la force de contraction maximale, elle suivait les recommandations de Gandevia, (2001), à savoir : 1) chaque effort maximal doit être accompagné d'instruction et de pratique ; 2) un retour sur la performance doit être donné pendant l'effort ; 3) des encouragements verbaux standardisés et appropriés doivent être donnés au cours de l'exercice ; 4) les participants peuvent refuser un effort qu'ils ne considèrent pas comme maximal (p. 1735). Ainsi une première CMV était réalisée avec l'encouragement verbal suivant : « allez, plus fort, encore, encore, encore ! ». Une fois cette première CMV réalisée, une pause de 30 secondes était respectée, puis une seconde CMV était réalisée. Lors de cette deuxième CMV, la force qu'il avait produite à l'essai précédent était présentée au participant sur l'écran en face de lui. Il pouvait ainsi voir la force produite lors de la nouvelle CMV en direct et la comparer à la précédente. Il lui était indiqué qu'il devait essayer de dépasser la force produite lors de l'essai précédent. Si la force produite était supérieure au premier essai alors il en réalisait une nouvelle CMV et ainsi de suite jusqu'à ce que la force précédente ne soit pas dépassée. Une fois que la force précédente n'était pas dépassée, et pour respecter le point 4 des recommandations de Gandevia, il était demandé au participant s'il pensait pouvoir produire une force supérieure. Si le participant répondait par l'affirmative alors un nouvel essai était réalisé.

La force la plus élevée produite lors d'une CMV de la première session (et/ou de la session de ligne de base pour l'étude 3, voir section 2.5) servait de référence pour déterminer la force cible de la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement pour l'ensemble des sessions. La comparaison de la force maximale atteinte avant et après la tâche d'endurance musculaire permettait de s'assurer que cette tâche avait été correctement réalisée.

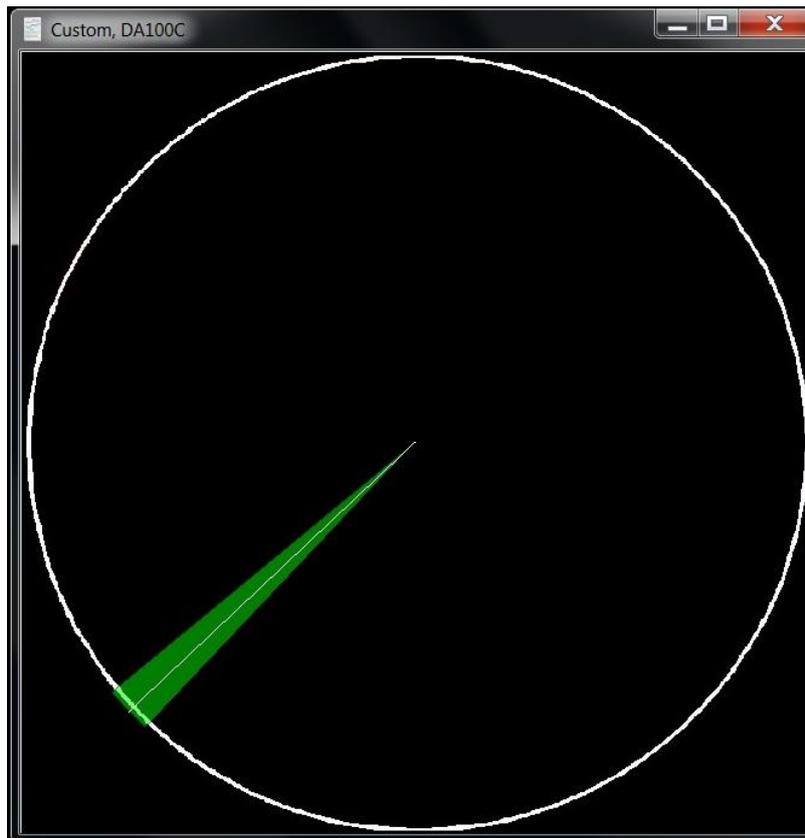
### **2.2.3.2. La tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement**

La tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement était utilisée comme tâche dépendante dans le paradigme des tâches séquentielles afin d'observer l'effet d'épuisement du soi. Pour ce faire, les participants devaient serrer une poignée dynamométrique à 13% ( $\pm 1\%$ ) de leur CMV jusqu'à épuisement. La mesure du temps jusqu'à épuisement a déjà été utilisée dans la

littérature afin de mettre en évidence un effet de fatigue cognitive ou un effet d'épuisement du soi (Brown & Bray, 2019; Hagger et al., 2010; Pageaux & Lepers, 2018). Nous avons aussi choisi cette tâche car sa taille d'effet dans la méta-analyse de Hagger et al. (2010) était relativement élevée avec  $d = 0.64$ .

Lors de la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement, les participants avaient devant eux une jauge en forme de cercle (Figure 6). Un tour complet ( $360^\circ$ ) représentait 100% de leur CMV. L'intervalle de 12% à 14% de la CMV était matérialisé par une zone verte en forme d'arc de cercle sur la jauge. Lors de la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement, il était demandé aux participants de mettre l'aiguille de la jauge représentant leur force actuelle dans la zone verte et d'y rester le plus longtemps possible. Ils ne devaient pas sortir de la zone verte, et si jamais cela se produisait, ils devaient revenir immédiatement à l'intérieur de celle-ci. Il leur était aussi indiqué que lorsqu'ils descendraient en dessous de la zone verte, l'expérimentateur leur dirait de remonter à l'intérieur. Enfin, il leur était dit que s'ils passaient trop de temps en dessous de la zone verte, alors la tâche s'arrêterait. Une fois la tâche démarrée, les participants devaient donc tenir le plus longtemps possible dans la zone verte. Il leur était indiqué qu'une fois qu'ils ne pouvaient plus du tout maintenir la force nécessaire pour rester dans la zone verte, ils pouvaient s'arrêter. S'ils passaient trop de temps (i.e., 2 secondes) sous la zone verte et ne remontaient pas lorsque l'expérimentateur le leur demandait, alors la tâche s'arrêtait. Enfin s'ils lâchaient complètement la poignée, même si c'était pour la replacer, alors la tâche s'arrêtait aussi.

Le temps jusqu'à épuisement était calculé après l'expérience grâce à un algorithme de calcul appliqué au dynamogramme. Il peut être défini comme le temps entre deux événements repérés sur le dynamogramme. Le premier événement correspond au moment sur le dynamogramme où le participant dépasse pour la première fois une valeur de force correspondant à 12% de la CMV. Il correspond au début de la contraction isométrique des muscles de l'avant-bras. Le deuxième événement correspond à l'un des événements décrits plus haut et correspond à l'arrêt de la contraction isométrique ou à l'incapacité du sujet à maintenir une force au-dessus des 12% de CMV.



*Figure 6. Jauge de mesure de la force de serrage des participants. Un tour complet représente leur CMV maximale. La zone verte est la zone cible dans laquelle ils doivent rester le plus longtemps possible allant de 12 à 14% de leur CMV. L'aiguille blanche présente au centre de la zone verte sur l'image est l'indicateur de leur force actuelle. Cette aiguille blanche doit rester dans la zone cible le plus longtemps possible. Lorsque la poignée n'est pas tenue, l'aiguille blanche reste à la verticale et pointe vers le bas.*

### **2.2.3.3. Echelle d'effort et de douleur**

Pendant que les participants réalisaient la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement, nous leur demandions de rapporter la perception de l'intensité de l'effort pour serrer la poignée tout en restant dans la zone verte, et de la douleur musculaire dans l'avant-bras pendant qu'ils faisaient la tâche. Pour cela, il leur était demandé de se positionner sur l'échelle de Borg CR100 (Borg & Kaijser, 2006) ainsi que sur l'échelle de Cook (O'Connor & Cook, 2001) pour les deux perceptions, respectivement (voir annexes 4 et 5). Une fois que la tâche avait commencé, nous leur demandions de se positionner sur les deux échelles toutes les 30 secondes jusqu'à l'arrêt de la tâche. Pour leur demander sans trop les distraire de la tâche en cours, seuls les mots

« effort » et « douleur » étaient prononcés indiquant aux participants qu'il devait donner une valeur numérique correspondant à l'effort et la douleur ressentie à cet instant donné. Il était aussi précisé aux participants de ne pas utiliser l'échelle d'effort pour évaluer la douleur et inversement (Pageaux, 2016). Les consignes concernant les deux échelles leur étaient présentées lors de la première séance. Elles leur étaient rappelées avant chaque tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement. Pour les consignes détaillées, voir annexe 6.

Les scores de perception de l'effort et de la douleur musculaire ont été analysés en utilisant la méthode « individual isotime » (Nicolò et al., 2019). Cette méthode a été évaluée comme étant la plus efficace pour analyser les données d'une manipulation expérimentale sur la perception de l'effort lors d'une tâche d'épuisement telle que la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement. En suivant cette méthode, le temps de maintien maximal le plus court parmi les sessions analysées représente le 100% du « individual isotime » pour chaque participant. Puis, à partir de ce temps maximal, trois autres points correspondant à 0%, 33% et 66% du 100% isotime étaient calculés pour chaque session de chaque participant. Le point 0% correspondait à la première mesure faite de la perception de l'effort et de la douleur au commencement de la tâche (pour que ce soit plus clair, un exemple est donné en annexe 7 sur le calcul de l'« individual isotime »).

## **2.2.4. Questionnaires et échelles**

### **2.2.4.1. Questionnaires généraux**

Pour l'ensemble des questions, nous avons utilisé des échelles visuelles analogiques (EVA). Les EVA semblent être un bon outil lorsque l'on a un grand nombre de questions à administrer dans un temps court (Wewers & Lowe, 1990). Il faut cependant prendre certaines précautions en utilisant les EVA. Il ne doit, par exemple, y avoir qu'une seule dimension mesurée, comme la fatigue (« A quel point êtes-vous fatigué à cet instant ? »). Si l'échelle comporte deux dimensions (e.g. Dépression – Exaltation) le participant peut avoir des difficultés à différencier les deux concepts pour se positionner sur l'échelle (Wewers & Lowe, 1990). De plus, les EVA ont déjà été utilisées dans des études similaires aux nôtres afin d'évaluer la fatigue mentale (Brown & Bray, 2017; Graham & Bray, 2015).

Au début de chaque session (Q1.1 et Q2.1), nous avons mesuré la motivation à réaliser la tâche qui allait suivre (i.e., la tâche physique lors de la première session, et la tâche mentale lors de la seconde), ainsi que l'état de fatigue des participants.

Lors de la première session, après avoir réalisé la tâche physique, les participants répondaient à une série de questions (Q1.2). Celles-ci portaient sur les capacités mentales et physiques qu'ils rapportaient avoir utilisées dans la tâche, la difficulté de la tâche physique, la motivation à refaire cette tâche, et la fatigue ressentie à cet instant.

Lors des sessions expérimentales, après avoir réalisé la tâche mentale, les participants répondaient à des questions (Q2.2) portant sur les capacités mentales et physiques qu'ils avaient utilisées dans la tâche mentale, la difficulté de la tâche mentale, la motivation à refaire la tâche mentale, la motivation à faire une tâche plus agréable, la motivation à faire la tâche physique, l'importance qu'ils accordaient à la tâche physique, l'efficacité personnelle envers la tâche physique, la fatigue ressentie et enfin l'ennui ressenti pour faire la tâche mentale. Enfin, après avoir réalisé la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement, les participants répondaient à nouveau à des questions (Q2.3) portant sur les capacités mentales et physiques utilisées dans la tâche physique, la difficulté de la tâche, la motivation à refaire la tâche mentale, la motivation à refaire la tâche physique, la motivation à faire une tâche plus agréable, la perception de la performance dans la tâche physique, la satisfaction de la performance dans la tâche physique, et enfin la fatigue ressentie.

### Variables d'intérêts

La mesure de la fatigue subjective ainsi que les différentes mesures de motivation permettaient de tester les hypothèses concernant l'augmentation de la première et la diminution de la seconde suite à une tâche d'épuisement, comparativement à la condition contrôle qui ne devrait pas montrer ce changement.

Des études indiquent que l'efficacité personnelle à réaliser une tâche semble avoir un impact sur l'autocontrôle (Bandura, 1997). Après avoir réalisé une tâche d'épuisement (vs contrôle), l'efficacité personnelle dans la tâche dépendante est réduite, ce qui pourrait expliquer le phénomène de baisse de performance (Graham et al., 2016; Graham & Bray, 2015). Nous avons donc mesuré cette variable afin de contrôler son influence sur l'effet d'épuisement du soi.

### Variables contrôles

Une étude récente a mis en évidence que l'ennui ressenti pouvait avoir un rôle dans l'apparition du phénomène d'épuisement du contrôle de soi (Wolff & Martarelli, 2020). Ainsi, nous avons mesuré l'ennui afin de contrôler l'influence de cette variable.

Afin de nous assurer que la tâche d'épuisement était bien perçue comme plus complexe et donc comme plus fatigante pour les participants, nous avons mesuré la difficulté perçue de la tâche, ainsi que les capacités mentales et physiques investies. L'estimation de ces capacités permettait également de tester indirectement l'hypothèse des ressources. Enfin, afin de vérifier l'engagement dans la tâche physique, nous avons mesuré l'importance des participants à réaliser cette tâche ainsi que la satisfaction de leur performance après l'avoir réalisée.

#### **2.2.4.2. Echelles d'autocontrôle trait, de sensibilité et de croyance**

Lors de la dernière session de chaque étude (hormis l'étude 2) l'échelle courte d'autocontrôle (Brief Self-Control Scale) était administrée aux participants (Dang et al., 2017; Graham & Bray, 2015; Tangney et al., 2004). De plus lors des études 1 et 3 l'échelle de croyance en l'autocontrôle (Job et al., 2010), et l'échelle de sensibilité à l'épuisement du soi (Salmon et al., 2014) étaient administrées aux participants (voir annexes 8, 9 et 10). Ces trois échelles étaient administrées à la toute fin de l'étude afin qu'elles n'influencent pas les participants lors des différentes tâches et ces derniers y répondaient via papier et crayon.

Nous n'avons pas trouvé de traduction française de ces échelles. Nous avons donc fait une traduction depuis l'anglais puis une traduction inverse (back-translation) afin que les échelles que nous allions utiliser correspondent au plus près à l'échelle originelle (Van De Vijver & Hambleton, 1996). Les traductions de l'anglais vers le français puis les traductions inverses ont été faites par des personnes différentes pour chaque sens de traduction. Trois de ces personnes étaient anglophones de langue maternelle, et une était doctorante en linguistique.

Comme détaillé dans les sections 1.6.1, le trait d'autocontrôle peut avoir un effet modérateur du phénomène d'épuisement du soi (DeWall et al., 2007; Job et al., 2010). La sensibilité à l'épuisement de l'autocontrôle et la croyance en l'autocontrôle seraient aussi des modérateurs de l'effet d'épuisement du soi (Salmon et al., 2014). Les individus qui sont plus

sensibles selon l'échelle de sensibilité à l'épuisement<sup>16</sup> subiraient un effet d'épuisement plus important à tâche égale que les individus moins sensibles. Nous avons donc contrôlé ces trois variables, surtout dans l'étude où nous avons deux groupes distincts de participants (Etude 1).

### **2.2.5. Critères d'exclusion**

Afin de limiter les biais d'échantillonnage, nous avons appliqué des critères d'exclusion lors des études où nous avons testé l'effet d'épuisement du soi. Les participants ayant vécu un événement stressant (e.g., une rupture sentimentale, membre de la famille à l'hôpital) avant l'une des deux sessions et pour lesquels nous n'avons pas pu déplacer l'expérimentation ont été retirés des analyses des données. Nous avons aussi retiré des analyses les participants n'ayant pas respecté les consignes lors de la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement. C'est-à-dire les participants qui restaient sous le seuil des 12% plus de 2 secondes, mais décidaient de continuer la tâche malgré tout. Enfin, nous avons retiré les participants atypiques sur le temps de maintien lors de la tâche de serrage manuel en utilisant 2.5 déviations absolues à la médiane (Leys et al., 2013). Nous avons fait cette dernière exclusion sur les participants atypiques lors d'une des deux sessions (e.g., un participant qui a tenu la poignée beaucoup plus longtemps que les autres à la session 1), mais aussi sur l'effet d'épuisement du soi (i.e., le rapport de temps de maintien entre les deux sessions).

### **2.2.6. Analyses statistiques**

L'ensemble des analyses statistiques a été réalisé en utilisant les logiciels Jamovi 1.6.23 et Jasp 0.14.1. Le seuil de significativité alpha a été placé à  $\alpha = .05$  pour l'ensemble des résultats. L'ensemble des tests post-hoc a été fait avec la correction de Bonferroni corrigé pour le nombre de comparaisons. Nous avons choisi cette correction car elle est conservatrice et permet donc de minimiser les erreurs de type 1 (i.e., faux positifs). Sauf précision, l'ensemble des tests-t qui ont été faits sont des tests de Student. Lorsqu'une ANOVA à mesures répétées a été réalisée avec plus de deux mesures, nous avons vérifié la sphéricité avec le test de Mauchly. Si ce dernier était significatif, alors les degrés de liberté et la valeur du F étaient corrigés en suivant les ajustements de Huynh-Feldt (Huynh & Feldt, 1976). Puisque la violation de la sphéricité

---

<sup>16</sup> Depletion sensitivity scale.

augmente le risque de faire une erreur de type 1, nous avons fait la correction de Huynh-Feldt uniquement lorsque le résultat de l'ANOVA était significatif. Afin de ne pas alourdir la lecture des résultats, l'ensemble des tests de Mauchly est uniquement rapporté en annexe (voir annexe 11).

## **2.3. Etude 1**

### **2.3.1. Introduction**

Comme présenté dans le cadre théorique, le but de cette première étude était de répliquer l'effet d'épuisement du soi, en se plaçant dans des conditions optimales d'observation du phénomène. Nous avons donc choisi une tâche d'épuisement relativement longue (i.e., 30 minutes), sollicitant fortement les fonctions exécutives et tout particulièrement l'inhibition contrôlée et la flexibilité cognitive. De plus, nous avons choisi un protocole à groupes emboîtés, ainsi qu'une tâche dépendante (i.e., la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement) déjà éprouvée par deux champs disciplinaires que sont la psychologie sociale et la psychologie du sport et de l'exercice.

Nous avons donc fait comme hypothèse principale que la performance dans la tâche dépendante sera plus faible pour les participants ayant fait la tâche d'épuisement avant la tâche dépendante comparativement au groupe ayant fait la tâche contrôle avant cette même tâche.

Nous avons fait comme hypothèses secondaires que la motivation à réaliser la tâche mentale diminuera et que la fatigue subjective augmentera après la tâche d'épuisement en comparaison à la tâche contrôle. De la même manière nous avons fait l'hypothèse que la motivation à refaire la tâche mentale ou la tâche de serrage manuel diminuera après la tâche dépendante comparativement à avant, et cela d'autant plus pour le groupe épuisement que pour le groupe contrôle. Enfin, nous avons fait l'hypothèse que les participants devront fournir plus d'efforts et auront une sensation de douleur plus élevée pour réaliser la tâche dépendante après avoir fait la tâche d'épuisement en comparaison à la tâche contrôle.

## 2.3.2. Méthode

### 2.3.2.1. Participants

Cent dix-huit étudiants (60 femmes,  $M_{\text{âge}} = 20.42$  ans,  $ET_{\text{âge}} = 2.87$ , Tableau 1) de psychologie et de sciences du sport de l'université de Poitiers ont pris part à cette expérience en échange d'un crédit cours ou d'un point bonus, respectivement. La taille d'échantillon a été déterminée en utilisant G\*Power 3.1.9.2 (Faul et al., 2007), avec un  $d = 0.30$ ,  $\alpha = .05$ , et une puissance de 80%. A ce moment-là, nous ne connaissions pas la corrélation entre les mesures répétées, nous avons donc choisi de garder la valeur par défaut de  $r = .50$ . Nous avons choisi comme taille d'effet une valeur de 0.30 car nous pensons que la taille d'effet présentée dans la méta-analyse de Hagger et al. (2010) est surévaluée (i.e.,  $d = 0.62$ ). De plus, cette même méta-analyse indique une taille d'effet moyenne de  $d = 0.40$  pour la tâche de Stroop. Dans une autre méta-analyse, Dang (2018) rapporte une taille d'effet moyenne de  $g = 0.44$ . Ainsi, en sélectionnant une taille d'effet plus petite, nous augmentons nos chances d'observer le phénomène. Selon G\*Power, 90 participants étaient suffisants pour détecter l'effet avec la puissance précisée.

Nous avons utilisé le site random.org pour randomiser l'ordre de conditions pour le passage des participants (Timestamp: 2017-11-06 15:00:44 UTC).

| <i>Variable</i>                         | <i>Groupe épuisement</i> | <i>Groupe Contrôle</i> | <i>Valeur-p</i> |
|---|--------------------------|------------------------|-----------------|
| <i>Nombre de sujets après exclusion</i> | 47                       | 43                     |                 |
| <i>Nombre H / F</i>                     | 27 / 20                  | 25 / 18                |                 |
| <i>Age moyen (ET)</i>                   | 20.4 (3.0)               | 20.7 (3.1)             | $p = .671$      |
| <i>CMV début (ET)</i>                   | 16.8 Kg (4.04)           | 16.2 Kg (3.94)         | $p = .478$      |
| <i>Autocontrôle trait</i>               | 40.0 (8.15)              | 40.6 (5.92)            | $p = .712$      |
| <i>Croyance</i>                         | 46.5 (8.21)              | 46.3 (7.75)            | $p = .933$      |
| <i>Sensibilité</i>                      | 47.9 (8.09)              | 46.0 (10.09)           | $p = .310$      |

Tableau 1. Caractéristiques et différences entre les deux groupes après exclusion des participants.

### **2.3.2.2. Différences avec le protocole général**

Dans cette première étude qui avait pour objectif de répliquer le phénomène d'épuisement du soi, nous avons suivi la méthodologie générale précédemment présentée (Figure 4A et 4B). La tâche qui servait de contrôle à la tâche expérimentale consistait en une lecture de mot de couleur dans laquelle le sens du mot était congruent avec la couleur de l'encre avec laquelle était écrit le mot. Le déroulement de cette tâche contrôle était exactement le même que pour la tâche de Stroop, à la différence que les mots de couleur étaient écrits dans la même couleur que le sens du mot (e.g., ROUGE écrit en rouge). Il était dit aux participants de ne pas tenir compte du signal préparatoire présenté (i.e., le carré ou le cercle), et de lire systématiquement le mot. Nous avons sélectionné cette tâche de lecture comme tâche contrôle, car elle est classiquement utilisée dans ce rôle dans le champ de l'épuisement du soi en psychologie sociale et de la fatigue cognitive en psychologie du sport et de l'exercice (MacMahon et al., 2019; Pageaux et al., 2014), mais aussi car elle permet de mettre les participants dans les conditions les plus proches de la condition expérimentale, tout en retirant l'inhibition contrôlée de la tâche de Stroop, ce qui devrait ne pas épuiser les participants.

Lors de cette première étude, juste après le questionnaire démographique et le test d'Ishihara (Ishihara, 1918), les participants réalisaient le test de l'Alouette (Cavalli et al., 2018) afin de déterminer s'ils étaient dyslexiques. Nous pensions que la dyslexie pouvait procurer un léger avantage aux participants dans la nomination de couleur car l'inhibition de la lecture serait plus simple. Suite à ce test, les participants réalisaient le test de main dominante d'Edinburgh (Oldfield, 1971) afin de déterminer de quelle main les participants allaient prendre la poignée de serrage.

Dans cette première étude, hormis les premiers questionnaires (Démographique, Ishihara, Edinburgh, Alouette) et les échelles de la fin de l'étude (Autocontrôle trait, croyance et sensibilité), toutes les questions étaient informatisées. Ainsi les participants répondaient aux EVA sur l'ordinateur. L'EVA leur était présentée et lorsqu'ils cliquaient sur l'écran, cela indiquait le pourcentage sélectionné (e.g., s'ils cliquaient au milieu de l'échelle, la valeur affichée était de 50%). Ils pouvaient alors modifier leur réponse. Après avoir modifié deux fois leur réponse, ou après avoir appuyé sur espace, l'EVA ou la tâche suivante apparaissait.

### **2.3.3. Résultats**

#### **2.3.3.1. Exclusions**

En suivant les critères d'exclusion présentés en section 2.2.5, 28 participants ont été exclus des analyses : 7 avaient vécu un événement stressant, 10 n'avaient pas respecté les consignes de la tâche de serrage manuel, et 11 étaient atypiques. Les analyses incluant les données exclues sont présentées en annexe 12.

#### **2.3.3.2. Effet d'épuisement du soi**

Une ANOVA avec groupe (expérimental vs contrôle) comme variable inter-sujets et la session (première vs seconde) comme variable intra-sujets a été réalisée sur le temps de maintien à la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement. L'interaction entre les deux variables sur le temps de maintien ne s'est pas révélée significative :  $F(1, 88) = 0.08, p = .782, \eta^2_p = .001, CI_{95} [0, .047]$ . L'effet principal du groupe était marginal :  $F(1, 88) = 3.75, p = .056, \eta^2_p = .041, CI_{95} [0, .145]$ , et celui de la session n'a pas atteint le seuil de significativité :  $F(1, 88) = 0.30, p = .583, \eta^2_p = .003, CI_{95} [0, .065]$  (Figure 7). La moyenne du temps de maintien indépendamment de la session et du groupe était de 6.66 minutes ( $ET = 2.46$ ).

Nous avons aussi conduit une ANOVA à mesure répétée bayésienne avec les mêmes variables indépendantes et dépendante. Nous avons utilisé un prior  $r = 0.5$  pour l'effet fixe et  $r = 1.0$  pour les effets aléatoires. Les résultats sont 17.67 fois plus en faveur de l'hypothèse nulle que de l'hypothèse alternative (i.e., présence d'un effet d'interaction) :  $BF_{01} = 17.67$ , pourcentage d'erreur = 2.52. L'effet principal de la session est aussi en faveur de l'hypothèse nulle :  $BF_{01} = 5.45$ , pourcentage d'erreur = 1.60. Enfin l'effet principal du groupe quant à lui reste indéterminé avec un très faible effet en faveur de l'hypothèse alternative :  $BF_{10} = 1.39$ , pourcentage d'erreur = 1.59.

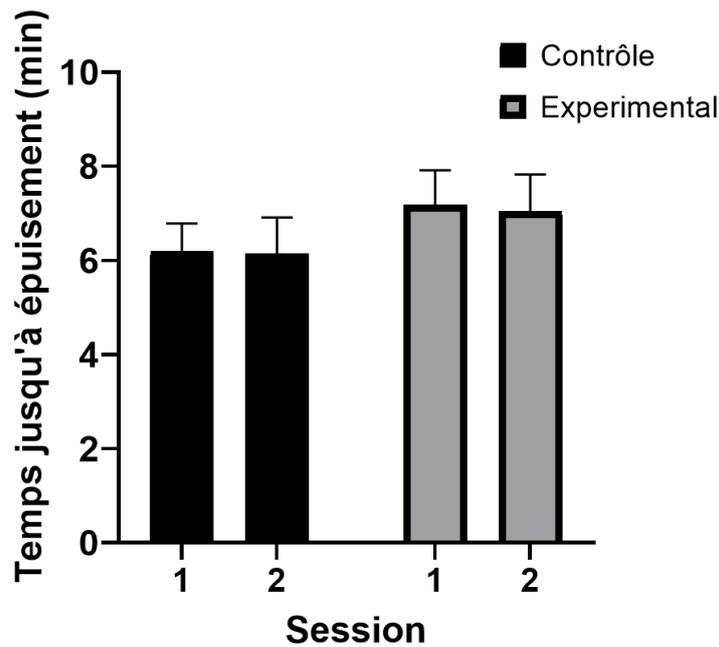


Figure 7. Temps de maintien jusqu'à épuisement lors de la tâche de serrage manuel en fonction de la session et du groupe. Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance 95%.

### 2.3.3.3. Contraction maximale volontaire

Nous avons mesuré la CMV des participants au début de chaque session afin de nous assurer qu'ils commençaient bien les deux sessions dans les deux groupes dans les mêmes conditions de force. Nous avons réalisé une ANOVA avec le groupe (épuisement vs contrôle) comme variable inter-sujets et la session (première vs seconde) comme variable intra-sujets sur la force de contraction maximale produite. L'interaction n'atteint pas le seuil de significativité :  $F(1, 88) = 0.00, p = .997, \eta^2_p = .000, CI_{95} [0, 0]$ , ni l'effet principal du groupe ou de la session :  $F(1, 88) = 0.46, p = .497, \eta^2_p = .005, CI_{95} [0, .072]$  et  $F(1, 88) = 2.09, p = .151, \eta^2_p = .023, CI_{95} [0, .115]$ , respectivement. La moyenne du pic de CMV est de 16.7 Kg (ET = 4.16 Kg).

Nous avons aussi mesuré la CMV avant et après la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement afin de nous assurer que les participants avaient bien suivi les consignes pendant la tâche et étaient allés au maximum de leurs capacités. Nous avons réalisé une ANOVA avec le moment (avant la tâche mentale vs après la tâche mentale vs après la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement) comme variable intra-sujets et le groupe (épuisement vs contrôle) comme variable inter-sujets. Ni l'interaction ni l'effet principal du groupe n'ont atteint le seuil de

significativité :  $F(2, 176) = 0.47, p = .629, \eta^2_p = .005, CI_{95} [0, .036]$  et  $F(1, 88) = 0.49, p = .486, \eta^2_p = .006, CI_{95} [0, .073]$ , respectivement. En revanche, l'effet principal du moment atteint le seuil de significativité même après la correction de Huynh-Feldt :  $F(1.76, 155.10) = 443.62, p < .001, \eta^2_p = .834, CI_{95} [.788, .863]$ . Les comparaisons post-hoc nous indiquent que les participants ont une CMV plus faible après la tâche mentale ( $M = 16.0 \text{ Kg}, ET = 4.33$ ) comparativement à avant ( $M = 16.8 \text{ Kg}, ET = 4.51$ ) :  $t(176) = 3.42, p = .002, d_z = 0.46, CI_{95} [0.24, 0.68]$  (Figure 8). Ils ont aussi une force de contraction plus faible après la tâche physique ( $M = 10.4 \text{ Kg}, ET = 4.07$ ) comparativement à avant la tâche mentale et avant la tâche physique :  $t(176) = 27.34, p < .001, d_z = 2.64, CI_{95} [2.20, 3.08]$  et  $t(176) = 23.91, p < .001, d_z = 2.32, CI_{95} [1.92, 2.72]$ , respectivement.

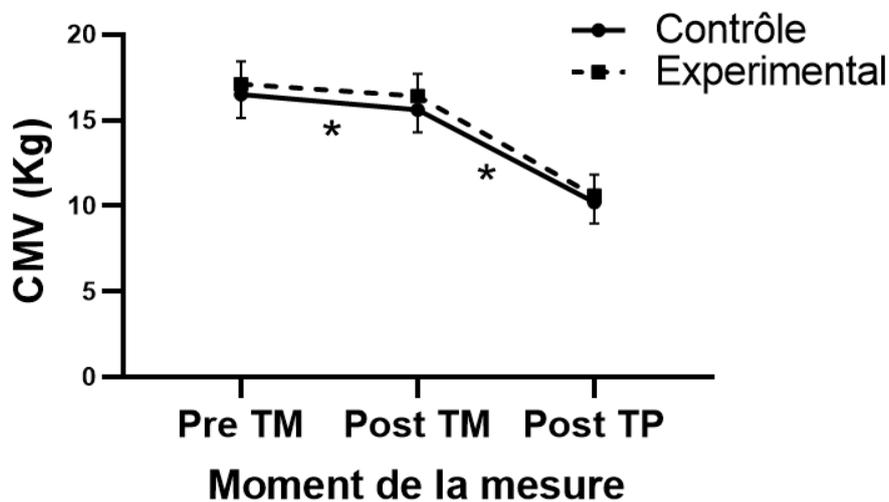


Figure 8. Contraction maximale volontaire en fonction du groupe et du moment de la mesure. Pre TM = avant la tâche mentale, Post TM = après la tâche mentale, Post TP = après la tâche physique. Les barres d'erreur représentent l'intervalle 95%.

#### 2.3.3.4. Variables de contrôle : Capacités utilisées dans la tâche, difficulté, importance et satisfaction

L'ensemble des moyennes et écart-types des variables de contrôles est rapporté dans le tableau 2.

Les participants indiquent avoir perçu la tâche de Stroop comme plus difficile que la tâche de Lecture :  $t(88) = 5.25, p < .001, d_s = 1.11, CI_{95} [0.66, 1.55]$ . En revanche la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement n'est pas vue comme plus difficile après avoir fait la tâche de Stroop qu'après avoir fait la tâche de Lecture :  $t(88) = 0.48, p = .632, d_s = 0.10, CI_{95} [-0.31, 0.52]$ .

Les participants rapportent avoir utilisé plus de capacités mentales pour réaliser la tâche de Stroop que la tâche de Lecture. Dû à une violation de l'égalité de la variance, le test de Welch a été effectué à la place du test de Student :  $t(70.705) = 2.75, p = .007, d_s = 0.59, CI_{95} [0.16, 1.01]$ . En revanche, ils ne rapportent pas avoir utilisé plus de capacités physiques pour réaliser ces deux tâches :  $t(88) = 0.82, p = .414, d_s = 0.17, CI_{95} [-0.24, 0.59]$ .

Les participants ne rapportent pas avoir utilisé plus de capacités mentales ou de capacités physiques pour réaliser la tâche physique après avoir fait la tâche de Stroop ou la tâche de Lecture :  $t(83.423) = 1.45, p = .151, d_s = 0.30, CI_{95} [-0.11, 0.72]$  et  $t(81.378) = 1.48, p = .142, d_s = 0.31, CI_{95} [-0.11, 0.73]$  respectivement.

Il n'y a pas de différence dans l'importance à réaliser la tâche rapportée par les deux groupes :  $t(88) = 1.1, p = .274, d_s = 0.23, CI_{95} [-0.18, 0.65]$ . Ils n'expriment pas non plus de différence dans la satisfaction perçue relative à la performance de la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement,  $t(88) = 1.31, p = .193$ .

| <i>Questions</i>                      | <i>Moyenne Stroop (ET)</i> | <i>Moyenne Lecture (ET)</i> |
|---------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| <i>Difficulté tâche mentale (TM)</i>  | 74.8 (16.5)                | 51.2 (25.5)                 |
| <i>Difficulté tâche physique (TP)</i> | 74.9 (14.9)                | 76.3 (13.7)                 |
| <i>Capacité mentale TM</i>            | 83.5 (15.4)                | 71.7 (23.9)                 |
| <i>Capacité physique TM</i>           | 22.9 (27.3)                | 27.7 (29.0)                 |
| <i>Capacité mentale TP</i>            | 59.0 (30.1)                | 67.0 (21.6)                 |
| <i>Capacité physique TP</i>           | 82.9 (20.0)                | 88.2 (13.6)                 |
| <i>Importance TP</i>                  | 71.4 (23.3)                | 76.1 (17.2)                 |
| <i>Satisfaction TP</i>                | 55.6 (20.7)                | 49.4 (24.6)                 |

*Tableau 2. Moyennes et écart-types dans différentes variables de contrôles en fonction du groupe.*

### 2.3.3.5. L'ennui

Les participants rapportent s'être plus ennuyés lors de la tâche de Lecture ( $M = 67.4$ ,  $ET = 23.4$ ) que lors de la tâche de Stroop ( $M = 45.1$ ,  $ET = 32.1$ ) :  $t(83.855) = 3.77$ ,  $p < .001$ ,  $d_s = 0.79$ ,  $CI_{95} [0.36, 1.22]$  (Figure 9). De plus, la corrélation entre la fatigue après la tâche mentale et l'ennui ressenti dans celle-ci est significative,  $r = .325$ ,  $p = .002$ . Plus les participants se sont ennuyés lors de la réalisation de la tâche mentale et plus ils se sentent fatigués après. Enfin, lorsque l'ennui est ajouté comme covariable à l'ANOVA testant l'effet d'épuisement du soi, l'interaction reste non significative :  $F(1, 87) = 0.53$ ,  $p = .468$ ,  $\eta^2_p = .006$ ,  $CI_{95} [0, .075]$ .

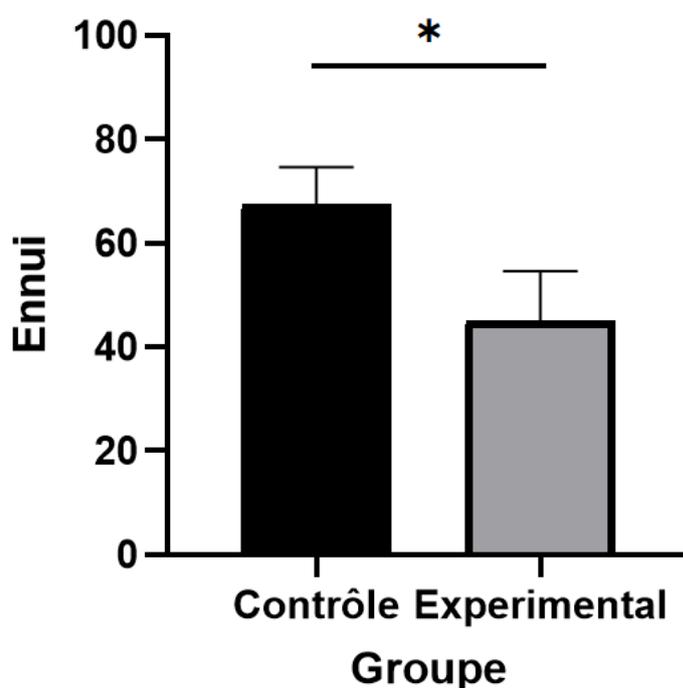


Figure 9. Ennui ressenti par les participants dans la tâche mentale en fonction du groupe. Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance 95%.

### 2.3.3.6. La fatigue

Nous avons réalisé une ANOVA avec le moment (avant la tâche mentale vs après la tâche mentale vs après la tâche physique) comme variable intra-sujets et le groupe (épuisement vs contrôle) comme variable inter-sujets sur la fatigue ressentie. L'effet d'interaction est marginal, mais l'effet principal du moment est significatif :  $F(1.81, 159.25) = 3.06$ ,  $p = .055$ ,  $\eta^2_p = .034$ ,

CI<sub>95</sub> [0, .098] et  $F(1.81, 159.25) = 34.37, p < .001, \eta^2_p = .281, CI_{95} [.166, .380]$ , respectivement (Figure 10). En revanche l'effet principal du groupe n'a pas atteint le seuil de significativité :  $F(1, 88) = 0.38, p = .540, \eta^2_p = .004, CI_{95} [0, .068]$ .

Les comparaisons post-hoc sur l'effet principal du moment suggèrent que les participants se sentent plus fatigués après chaque nouvelle tâche. Avant la tâche mentale (M = 38.0, ET = 24.9), comparativement à après la tâche mentale (M = 49.0, ET = 22.7) [ $t(176) = 4.90, p < .001, d_z = 0.48, CI_{95} [0.26, 0.70]$ ] et comparativement à après la tâche physique (M = 56.7, ET = 21.9), [ $t(176) = 8.24, p < .001, d_z = 0.76, CI_{95} [0.52, 0.99]$ ]. La comparaison après la tâche mentale et après la tâche physique est également significative :  $t(176) = 3.35, p = .003, d_z = 0.44, CI_{95} [0.22, 0.65]$ .

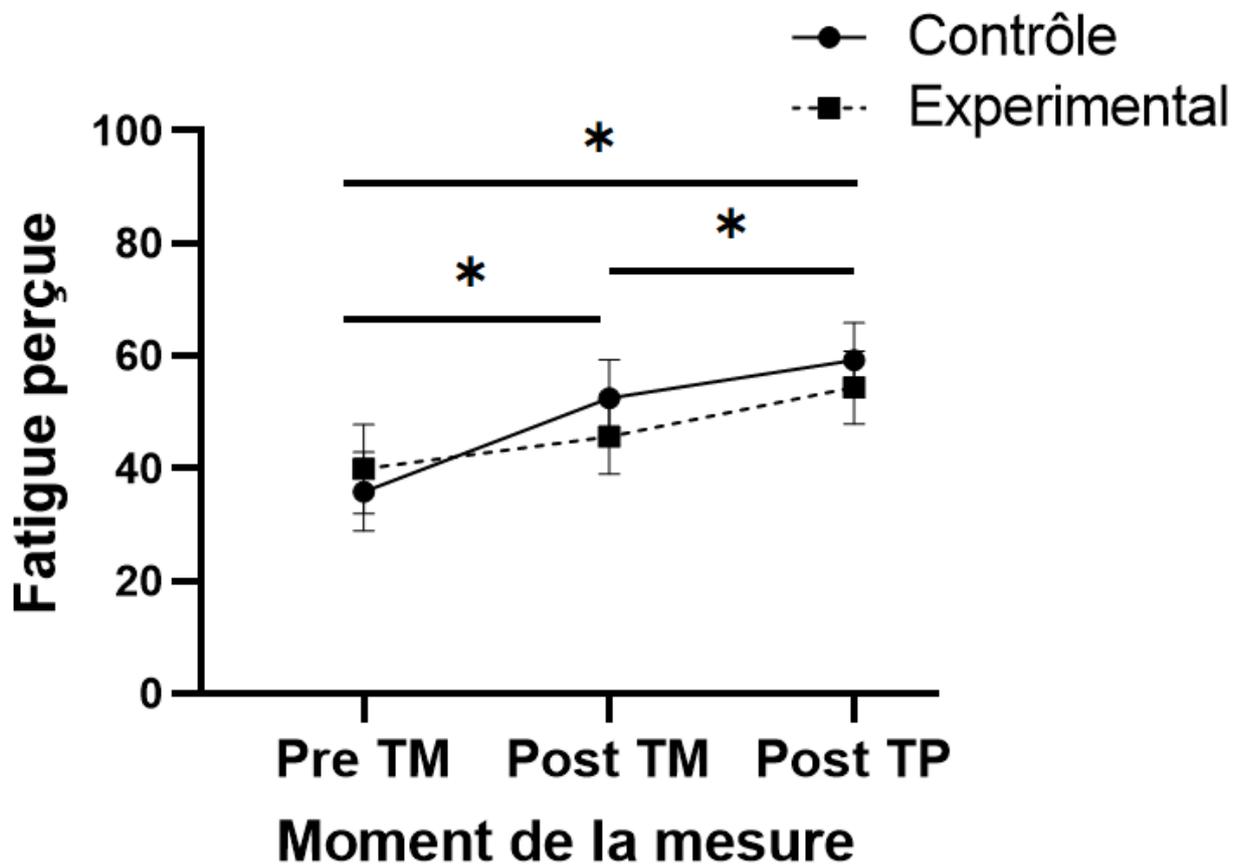


Figure 10. Fatigue perçue par les participants en fonction du groupe et du moment de la mesure. Pre TM = avant la tâche mentale, Post TM = après la tâche mentale, Post TP = après la tâche physique. Les barres d'erreur représentent l'intervalle 95%.

### 2.3.3.7. La motivation

#### Motivation à réaliser la tâche mentale

La même ANOVA que celle pour la fatigue a été réalisée sur la motivation à réaliser la tâche mentale. Ni l'interaction ni l'effet du groupe ne sont significatifs :  $F(2, 176) = 1.27, p = .282, \eta^2_p = .014, CI_{95} [0, .059]$  et  $F(1, 88) = 0.59, p = .445, \eta^2_p = .007, CI_{95} [0, .076]$ , respectivement. En revanche l'effet principal du moment est significatif :  $F(1.91, 167.66) = 51.18, p < .001, \eta^2_p = .037, CI_{95} [.253, .460]$ . Les comparaisons post-hoc indiquent que les participants sont moins motivés à refaire la tâche mentale après l'avoir réalisée comparativement à avant,  $t(176) = 9.84, p < .001, d_z = 0.95, CI_{95} [0.70, 1.20]$ , et que la motivation remonte après avoir fait la tâche physique,  $t(176) = -2.90, p = .013, d_z = 0.34, CI_{95} [0.13, 0.56]$ , mais reste malgré tout plus basse qu'au début de la session :  $t(176) = 6.94, p < .001, d_z = 0.72, CI_{95} [0.48, 0.95]$  (Figure 11A).

#### Motivation à réaliser la tâche physique

Une ANOVA avec le moment (avant la tâche physique vs après la tâche physique) comme variable intra-sujets et le groupe (épuisement vs contrôle) comme variable inter-sujets a été réalisée sur la motivation à faire la tâche physique. L'effet d'interaction est significatif :  $F(1, 88) = 6.26, p = .014, \eta^2_p = .066, CI_{95} [.002, .183]$ . Les comparaisons post-hoc révèlent que les participants sont moins motivés à refaire la tâche physique après l'avoir fait qu'avant dans la condition épuisement  $t(88) = 5.90, p < .001$ . Les autres comparaisons en revanche ne sont pas différentes significativement (tous les  $p > .161$ ) (Figure 11B).

#### Motivation à réaliser une tâche plus agréable

La même ANOVA que pour la motivation à faire la tâche physique a été réalisée sur la motivation à faire une tâche plus agréable. Ni l'interaction, ni l'effet principal du moment, ni l'effet principal du groupe ne se sont avérés significatifs :  $F(1, 88) = 0.43, p = .512, F(1, 88) = 0.14, p = .711$  et  $F(1, 88) = 0.06, p = .810$ , respectivement. Cependant, les participants ont été sur l'ensemble des mesures très motivés à faire une tâche plus intéressante, toutes les moyennes sont comprises entre 79 et 82 sur 100 (Figure 11C).

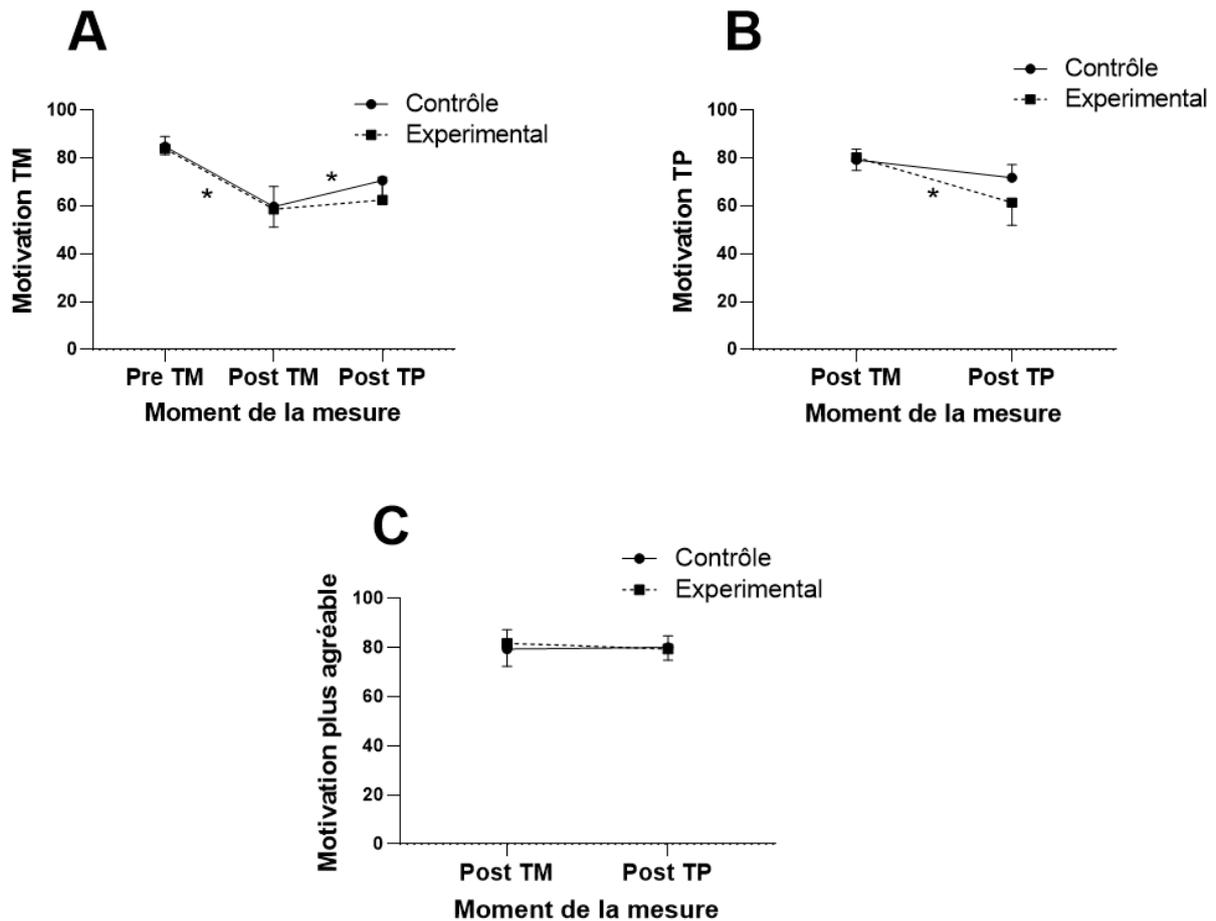


Figure 11. A) Motivation à réaliser la tâche mentale, B) motivation à réaliser la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement, C) motivation à réaliser une tâche plus agréable en fonction du moment de la mesure et du groupe. Pre TM = avant la tâche mentale, Post TM = après la tâche mentale, Post TP = après la tâche de serrage. Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance 95%.

### 2.3.3.8. Efficacité personnelle et perception de performance

Les deux groupes ne semblent pas être différents pour ce qui est de l'efficacité personnelle à réaliser la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement ou de la perception de performance après avoir réalisé cette même tâche :  $t(88) = 0.67, p = .504$  et  $t(88) = 0.65, p = .516$ , respectivement.

### 2.3.3.9. La perception de l'effort et de la douleur dans la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement

Nous avons conduit une ANOVA avec le groupe (épuiement vs contrôle) comme variable inter-sujets et le « individual isotime » (0% vs 33% vs 66% vs 100%) comme variable intra-sujets sur la perception de l'effort pendant la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement (Figure 12A). Ni l'effet d'interaction ni l'effet principal du groupe ne sont significatifs :  $F(3, 255) = 0.43, p = .731, \eta^2_p = .005, CI_{95} [0, .023]$  et  $F(1, 85) = 0.82, p = .368, \eta^2_p = .009, CI_{95} [0, .086]$ , respectivement. En revanche l'effet de l'individual isotime est significatif :  $F(1.90, 161.30) = 680.65, p < .001, \eta^2_p = .889, CI_{95} [.856, .908]$ . Les participants rapportent un effort qui augmente au fur et à mesure de la tâche.

Nous avons conduit la même ANOVA sur la perception de la douleur au cours de la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement (Figure 12B). Ni l'effet d'interaction ni l'effet principal du groupe ne sont significatifs :  $F(3, 255) = 1.17, p = .320, \eta^2_p = .014, CI_{95} [0, .044]$  et  $F(1, 85) = 0.99, p = .321, \eta^2_p = .012, CI_{95} [0, .091]$ , respectivement. L'effet principal du temps sur la tâche est significatif :  $F(1.66, 141.41) = 542.06, p < .001, \eta^2_p = .864, CI_{95} [.824, .889]$ . Les participants rapportent une douleur plus élevée à chaque point de mesure.

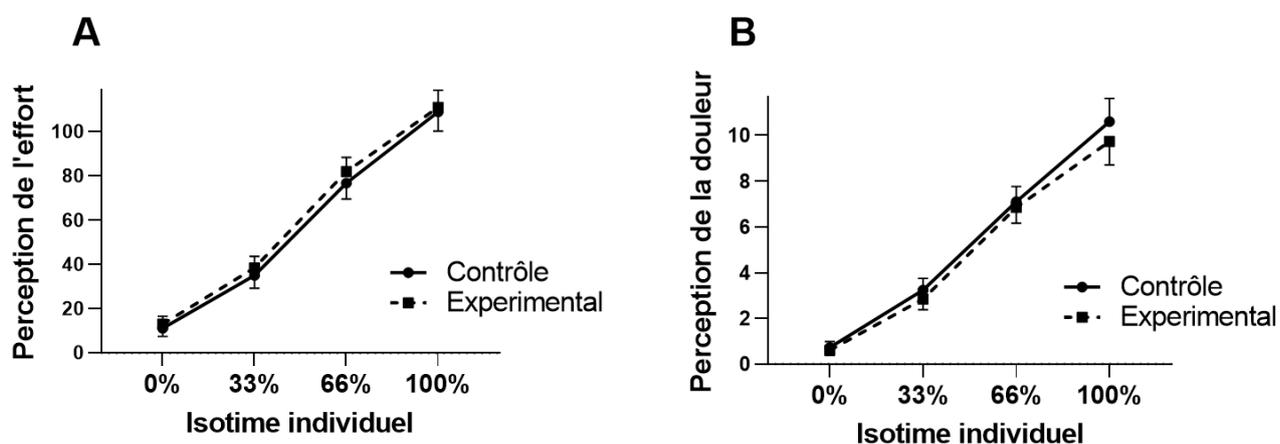


Figure 12. A) perception de l'effort et B) perception de la douleur en fonction de l'isotime individuel et du groupe. Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance 95%.

### 2.3.3.10. Le trait d'autocontrôle, la croyance et la sensibilité

Nos groupes (épuiement vs contrôle) ne sont pas différents entre eux sur les trois échelles de personnalité mesurées à la fin de la dernière session. Trait d'autocontrôle :  $t(83.831) = 0.38,$

$p = .708$  ; croyance :  $t(88) = 0.08$ ,  $p = .933$  ; et sensibilité à l'épuisement du soi :  $t(88) = 1.02$ ,  $p = .310$ .

Lorsque nous ajoutons le trait d'autocontrôle comme covariable dans l'ANOVA mesurant l'épuisement du soi, l'effet d'interaction reste non significatif. Cependant l'effet d'interaction entre le trait d'autocontrôle et la session est significatif ( $F(1, 87) = 4.96$ ,  $p = .029$ ,  $\eta_p^2 = .054$ ,  $CI_{95} [0, .166]$ ) et l'effet de la session devient significatif :  $F(1, 87) = 5.25$ ,  $p = .024$ ,  $\eta_p^2 = .057$ ,  $CI_{95} [.0001, .170]$ . Plus le trait d'autocontrôle des participants est petit et moins ils tiennent la poignée longtemps, et cela d'autant plus après avoir réalisé une tâche mentale.

Les deux autres traits de personnalité (croyance en l'autocontrôle et sensibilité à l'épuisement) ne changent pas l'effet d'interaction et n'ont pas eux-mêmes d'effet d'interaction ou d'effets principaux lorsqu'ils sont ajoutés en tant que covariable.

#### **2.3.4. Discussion**

Malgré une tâche d'épuisement longue et sollicitant fortement les fonctions exécutives, qui a été jugée comme plus difficile et demandant plus de capacité mentale pour la réalisation, nous n'avons pas réussi à répliquer l'effet d'épuisement du soi dans cette première étude. Cependant, les participants nous indiquent s'être fortement ennuyés lors de la tâche contrôle (i.e., 67/100), et moyennement dans la tâche d'épuisement (i.e., 45/100). De plus, la baisse de motivation à réaliser la tâche mentale est similaire dans les deux groupes, tout comme l'augmentation de la fatigue. Dans des articles récents, il est proposé que pour maintenir une performance malgré un ennui important, les participants doivent utiliser leur capacité à se contrôler (Bieleke et al., 2021; Wolff & Martarelli, 2020). En effet, pour ne pas arrêter la tâche malgré la présence de l'ennui, les participants sont amenés à inhiber l'envie de plus en plus forte d'arrêter la tâche.

Nos résultats sur la CMV nous indiquent que les participants des deux groupes ont correctement réalisé la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement, puisque leur CMV après la tâche est réduite de 36% par rapport à la CMV réalisée juste avant. De plus, les participants rapportent le même degré d'importance à la réalisation de la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement et le même degré de satisfaction après l'avoir faite.

Sur la CMV, nous pouvons observer une légère baisse de force entre avant et après la tâche mentale (environ 4%), mais cela de manière similaire dans les deux groupes. Pourtant,

des études ont montré que la CMV n'était pas altérée par la réalisation d'une tâche mentale (Brown et al., 2020; Pageaux & Lepers, 2018). Cela peut être expliqué par le nombre de réalisations de CMV. En effet, au début de la session, le participant réalise plusieurs CMV, jusqu'à ce que sa force maximale produite n'augmente plus, alors que lors de la deuxième CMV après la tâche mentale, les participants ne font que deux CMV. Ainsi, lors du début de la session, plusieurs essais permettent d'échauffer le bras, ce qui n'est pas le cas lors de la deuxième, qui est faite 30 minutes plus tard. Ainsi, l'absence d'échauffement (Bishop, 2003) ou tout simplement le nombre d'essais peuvent expliquer cette légère différence.

Nous avons mesuré la motivation à réaliser la tâche physique ainsi que celle à faire une tâche plus agréable (en plus de la motivation à faire la tâche mentale) afin de tester le modèle de processus d'épuisement du soi (Inzlicht & Schmeichel, 2012). Il est difficile de conclure sur les résultats étant donné que nous n'avons pas répliqué l'effet d'épuisement du soi. Cependant, la baisse de motivation observée uniquement après la tâche physique dans le groupe Stroop semble aller dans le sens de ce modèle. Malgré cela, avant le début de la tâche physique, les deux groupes ne sont pas différents en termes de motivation à faire la tâche, alors que selon ce modèle, nous nous attendions à une motivation plus faible après la tâche de Stroop (vs la tâche de Lecture). Les résultats concernant la motivation à faire une tâche plus agréable ne vont pas dans le sens de ce modèle non plus. En effet, nous nous attendions à une motivation à faire une tâche plus agréable plus élevée dans le groupe Stroop (vs le groupe Lecture), et cela que ce soit avant ou après la tâche physique. Cependant, pour cette motivation, nous nous trouvons peut-être face à un effet plafond, puisque dans les deux groupes la motivation à faire une tâche plus agréable est déjà très élevée (environ 80/100). Malgré cela, et encore une fois, l'absence de la réplication de l'effet d'épuisement ne permet pas vraiment de conclure sur la motivation.

Nous n'avons pas observé non plus de différence dans la perception de l'effort fourni et la perception de la douleur lors de la réalisation de la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement. Pour cette variable également, il est difficile de conclure quant à l'absence de différence étant donné que nous n'avons pas répliqué l'effet d'épuisement. Cependant, nous observons que la perception de la douleur et de l'effort augmente bien tout au long de la tâche, indiquant que les participants ont suivi les consignes associées à la tâche et ont tenu la poignée le plus longtemps possible.

De plus, il est intéressant de noter que le temps de maintien entre la première et la seconde session est similaire et cela pour les deux groupes, alors que l'on pourrait s'attendre à une baisse

de performance suite à la tâche mentale en comparaison à la session sans tâche mentale. Ici, deux explications sont possibles. La première est que les participants n'ont pas subi d'épuisement du soi lors de la tâche mentale, et par conséquent cela n'a pas affecté leur performance à la tâche physique. La seconde explication est que les deux groupes ont bien eu un épuisement du soi, mais que dans le même temps ils ont aussi eu un effet d'entraînement à la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement. Par conséquent, pour contrôler cela, il serait nécessaire dans les études futures de faire une première session d'entraînement avant de faire la session de ligne de base ou la session expérimentale. Ainsi, si une augmentation de la performance apparaissait entre la session entraînement et la session ligne de base, alors cela voudrait dire qu'il existe bien un effet d'entraînement. Dans le cas contraire, cela signifierait que notre tâche d'épuisement n'induit pas une fatigue cognitive.

Pris ensemble, nos résultats indiquent que les deux groupes semblent avoir vécu le même épuisement du soi (i.e., pas de perception d'effort ou de douleur différente, même augmentation de la fatigue, et même baisse de la motivation), mais cela pour deux raisons différentes. Le groupe Stroop a été épuisé par la forte sollicitation des fonctions exécutives tout au long de la tâche Stroop modifiée (i.e., inhibition contrôlée et flexibilité cognitive) alors que le groupe Lecture l'a été par l'ennui provoqué par la monotonie de la tâche de lecture de mots de couleur. Ces résultats suggèrent donc que la tâche de lecture de mots, tels que décrits dans la section 2.3.2.2, est une mauvaise tâche contrôle puisqu'elle induit plus d'ennui, mais aussi un sentiment de fatigue et une baisse de motivation égale à la tâche d'épuisement. Il semblerait donc que cette tâche amène les participants à utiliser leur capacité d'autocontrôle. Par conséquent, il est nécessaire de ne pas utiliser des tâches contrôles qui soient trop proches des tâches expérimentales, afin que celles-ci n'induisent pas d'ennui. En effet, ces tâches contrôles sont répétitives, non stimulantes et dénuées de sens pour les participants. Cette sélection de tâches contrôles monotones pourrait par ailleurs expliquer pourquoi certaines études ne répliquent pas, puisque c'est souvent une tâche le plus proche possible de la tâche expérimentale qui est utilisée dans la littérature (e.g., tâche de Stroop congruente, tâche de barrage de « E »), afin que la seule différence entre la tâche d'épuisement et la tâche contrôle soit l'inhibition contrôlée (Boat & Taylor, 2017; Etherton et al., 2018; Hagger et al., 2016; Xu et al., 2014).

Enfin, le modèle de processus d'épuisement du soi (Inzlicht & Schmeichel, 2012) propose que suite à une tâche mentale compliquée, il y ait un changement émotionnel. L'éveil, qui peut être vu comme une composante des émotions (Bradley & Lang, 1994; Handayani et al., 2015; Hardy, 1990; Morris, 1995) pourrait donc aussi subir un changement qui irait dans le sens d'une

réduction. Cet effet pourrait être en partie dû aux caractéristiques monotones de la tâche, ce qui dans le même temps induirait de l'ennui. De ce fait, il est théoriquement possible d'observer une corrélation inverse entre l'ennui et l'éveil.

## **2.4. Etude 2, comparaison de tâche contrôle**

### **2.4.1. Introduction**

Nous avons vu dans l'étude 1 que la tâche de Lecture ne semblait pas être une bonne tâche contrôle car elle induisait trop d'ennui et par conséquent demandait beaucoup d'efforts pour être maintenue dans la durée. L'objectif de cette nouvelle étude était donc de trouver une nouvelle tâche qui puisse servir de tâche contrôle dans le paradigme de l'épuisement du soi. Nous avons comparé une tâche vidéo (regarder un documentaire), tâche qui a déjà été utilisée dans une autre étude (Pageaux et al., 2013) et nous l'avons comparée à la tâche de Lecture. La comparaison principale s'est faite sur la sensation d'ennui. Les comparaisons secondaires ont été réalisées sur les états affectifs (valence et éveil) ainsi que sur la sensation de fatigue et la motivation à réaliser la tâche.

### **2.4.2. Méthode**

#### **2.4.2.1. Participants**

Vingt étudiants (6 femmes,  $M_{\text{âge}} = 20.26$  ans,  $ET_{\text{âge}} = 1.59$ ) de sciences du sport et de psychologie de l'Université de Poitiers ont pris part à cette expérience en échange d'un demi-point bonus sur la moyenne d'une matière ou d'un crédit cours, respectivement.

#### **2.4.2.2. Procédure**

Cette étude était composée de deux sessions et se réalisait de manière individuelle. L'ordre entre les sessions était contrebalancé à l'aide du site random.org. Lors de chaque session, les participants indiquaient leur motivation à réaliser la tâche mentale qui allait suivre, ainsi que leur fatigue sur des EVA. Ils évaluaient ensuite leur état affectif (de triste à heureux) et leur éveil (de calme à excité) en utilisant l'échelle en 9 points « Self Assessment Manikin » (SAM ; Bradley & Lang, 1994; Handayani et al., 2015). Les participants réalisaient ensuite la

tâche mentale. Cette tâche était soit 30 minutes de la tâche de Lecture (i.e., la tâche contrôle utilisée lors de la première étude), soit le visionnage des 30 premières minutes d'une vidéo (le documentaire « Un jour sur Terre » de Alastair Fothergill & Mark Linfield, 2007). Suite à cette tâche mentale, les participants évaluaient de nouveau leur état affectif et leur éveil, puis ils indiquaient sur des EVA les capacités mentales utilisées afin de réaliser la tâche. Ils évaluaient de nouveau la motivation à refaire la tâche mentale s'ils devaient la refaire immédiatement, le temps qu'ils pensaient avoir passé sur la tâche, l'ennui ressenti au cours de la tâche ainsi que leur fatigue. Lors de la session Vidéo, après avoir répondu à l'ensemble des questions, ils avaient des questions très simples portant sur la vidéo afin de s'assurer qu'ils avaient correctement réalisé la tâche (voir annexe 13 pour le type de question).

### 2.4.3. Résultats

#### 2.4.3.1. Ennui, estimation du temps passé sur la tâche et capacités mentales

Les participants ont rapporté avoir senti plus d'ennui quand ils réalisaient la tâche de Lecture ( $M = 71.7$ ,  $ET = 26.0$ ) que lorsqu'ils réalisaient la tâche Vidéo ( $M = 15.9$ ,  $ET = 16.3$ ) :  $t(19) = 9.04$ ,  $p < .001$ ,  $d_z = 2.02$ ,  $CI_{95} [1.24, 2.79]$  (Figure 13).

Nous avons également demandé aux participants d'estimer le temps qu'ils avaient passé sur la tâche. Ils n'ont pas rapporté de différence entre la tâche de Lecture ( $M = 22.85$  minutes,  $ET = 10.89$ ) et la tâche Vidéo ( $M = 24.85$  minutes,  $ET = 6.40$ ),  $t(19) = 0.90$ ,  $p = .379$ .

Les participants n'ont pas non plus rapporté utiliser plus de capacités mentales pour réaliser la tâche de Lecture ( $M = 45.8$ ,  $ET = 21.0$ ) que la tâche Vidéo ( $M = 36.8$ ,  $ET = 19.1$ ),  $t(19) = 1.49$ ,  $p = .153$ .

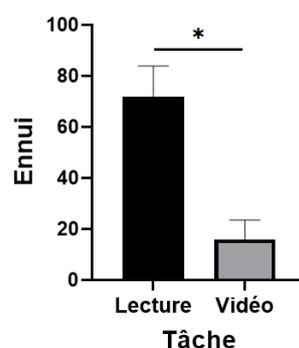


Figure 13. Ennui ressenti par les participants lors de la tâche. Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance 95%.

### 2.4.3.2. Etat affectif et éveil

Nous avons réalisé des ANOVAs avec la session (Lecture vs Vidéo) et le moment (avant la tâche vs après) comme variables intra-sujets sur l'état affectif ressenti ainsi que sur l'éveil. L'interaction a atteint le seuil de significativité pour l'état affectif :  $F(1, 19) = 15.09, p < .001, \eta^2_p = .443, CI_{95} [.101, .644]$  (Figure 14A). En revanche, pour l'éveil ni l'interaction ni l'effet principal de la session ou du moment ne se sont avérés significatifs :  $F(1, 19) = 0.01, p = .906, F(1, 19) = 0.24, p = .628$  et  $F(1, 19) = 2.01, p = .172$ , respectivement (Figure 14B).

Les tests post-hoc ont indiqué que l'état affectif n'était pas différent avant ou après la tâche vidéo [ $t(38) = -0.95, p = .700$ ], alors que la tâche de Lecture induisait un état affectif plus négatif :  $t(38) = 4.55, p < .001, d_z = 0.86, CI_{95} [0.33, 1.37]$ .

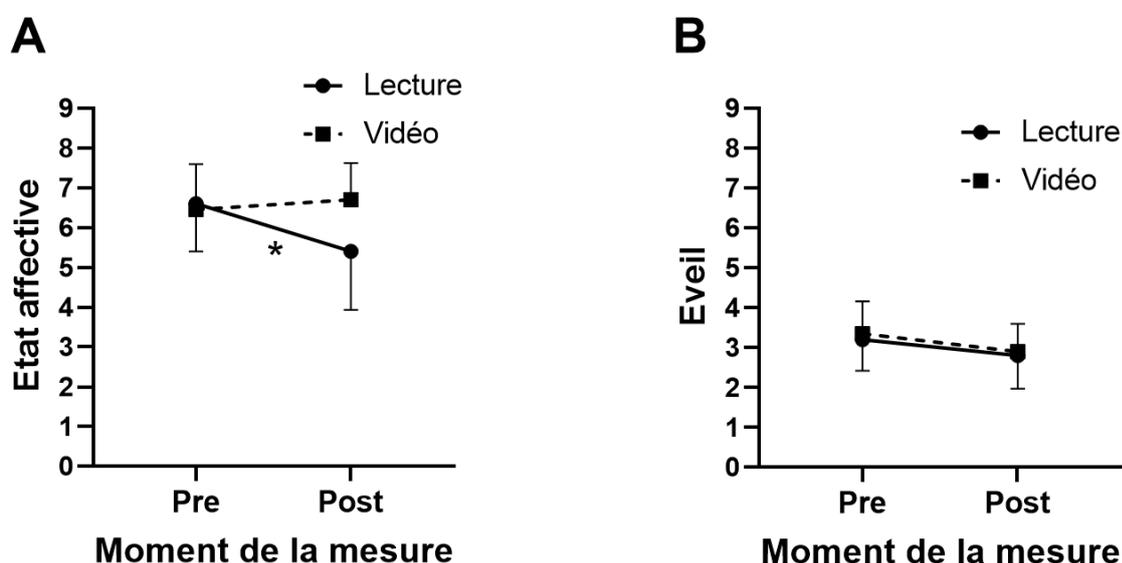


Figure 14. A) l'état affectif, B) l'éveil, avant et après la tâche en fonction de la session. Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance 95%.

### 2.4.3.3. Fatigue et motivation

Nous avons réalisé des ANOVAs avec le même plan que pour l'état affectif, sur la fatigue ressentie et la motivation à réaliser la tâche (Figure 15A). Pour la fatigue, l'interaction ne s'est pas avérée significative [ $F(1, 19) = 2.43, p = .136$ ], alors qu'un effet principal du moment et de la session a été observé :  $F(1, 19) = 7.56, p = .013, \eta^2_p = .285, CI_{95} [.014, .530]$  et  $F(1, 19) = 7.90, p = .011, \eta^2_p = .294, CI_{95} [.017, .537]$ , respectivement. Les participants ont ressenti plus de fatigue après la tâche (M = 55.1, ET = 24.4) comparativement à avant (M = 46.6, ET = 21.9) :

$t(19) = 2.75, p = .026$ . Ils ont également ressenti plus de fatigue lors de la session Lecture ( $M = 57.0, ET = 24.7$ ) que lors de la session Vidéo ( $M = 44.8, ET = 23.6$ ) :  $t(19) = 2.81, p = .022$ .

Pour la motivation, nous avons observé une interaction significative :  $F(1, 19) = 50.2, p < .001, \eta^2_p = .725, CI_{95} [.441, .827]$  (Figure 15B). Les tests post-hoc ont révélé que les participants étaient moins motivés à refaire la tâche de lecture après l'avoir faite comparativement à avant  $t(37.5) = 13.06, p < .001, d_z = 2.82, CI_{95} [1.82, 3.80]$ , alors que la tâche Vidéo ne semble pas avoir induit de changement de motivation :  $t(37.5) = 2.47, p = .072$ .

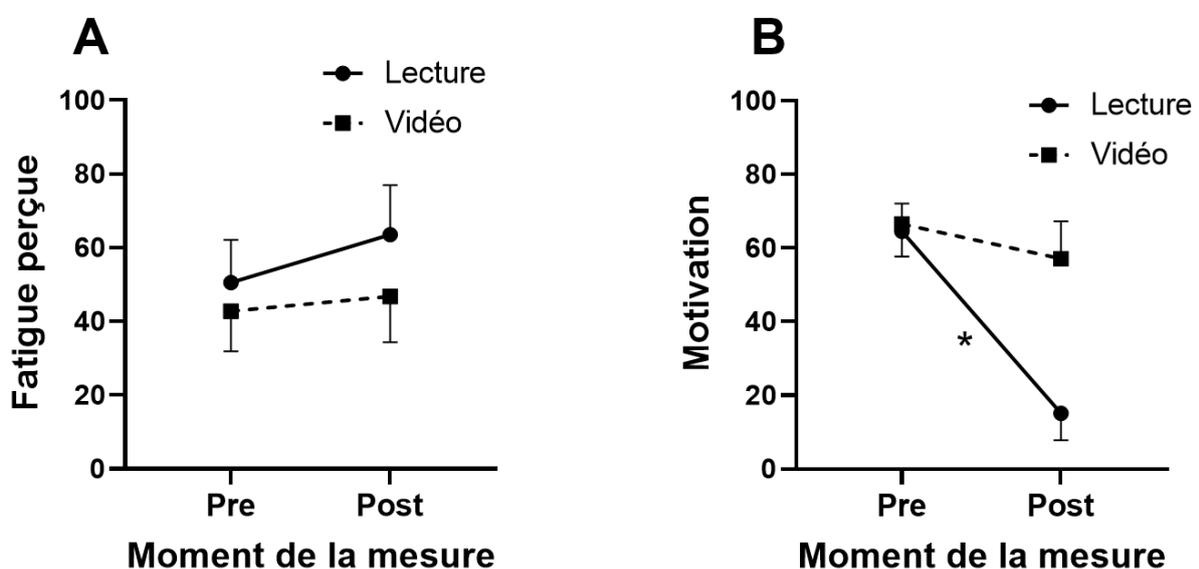


Figure 15. A) la fatigue perçue, B) la motivation à réaliser la tâche mentale en fonction de la session et du moment de la mesure. Les barres d'erreur représentent l'intervalle 95%.

#### 2.4.3.4. Performance relative au visionnage du documentaire

Afin de vérifier si les participants réalisaient correctement la tâche Vidéo et la regardaient vraiment, nous avons comparé leur pourcentage de bonnes réponses à celui qui serait obtenu s'ils avaient répondu au hasard (i.e., 50%). Ainsi le test  $t$  à un échantillon que nous avons réalisé indique que leur taux de réponse ( $M = 83\%, ET = 9.23\%$ ) était supérieur au hasard,  $t(19) = 16, p < .001$ .

#### **2.4.4. Discussion**

Comme nous en avons fait l'hypothèse, la tâche de Lecture a induit un ennui important (72/100) alors que la tâche Vidéo n'en a produit qu'un faible (16/100). Par ailleurs la tâche Vidéo a correctement été réalisée par les participants avec une motivation importante à la réaliser (66/100), ainsi qu'un score élevé aux questions concernant le contenu de la vidéo bien supérieur au hasard (83/100). De plus, la tâche Vidéo n'a pas induit de changement dans l'état affectif des participants (valence et éveil). Elle ne semble pas non plus avoir induit de baisse de motivation ou d'augmentation de la fatigue. En ce qui concerne la tâche de Lecture, nous avons répliqué la baisse de motivation importante observée dans la première étude. Pour la fatigue en revanche, bien qu'une tendance semblait apparaître, celle-ci ne s'est pas avérée significative. Cependant, nous sommes peut-être ici face à un manque de puissance statistique pour mettre en évidence cet effet. Nous avons aussi pu mettre en évidence que la tâche de Lecture a induit un changement d'état affectif, avec l'induction d'une valence négative (tristesse). Cependant, le niveau d'éveil s'est avéré équivalent dans ces deux tâches. L'ennui détecté dans la tâche de Lecture ne semble donc pas être associé à une réduction dans le niveau d'éveil des participants.

Enfin, les deux tâches ne se sont pas distinguées sur les capacités mentales auto-rapportées engagées pour la réalisation de celles-ci, indiquant que leur difficulté subjective ne semblait pas différente. Cependant, cette mesure semble très différente des capacités mentales évaluées dans la première étude pour la tâche de Lecture (i.e., 72/100 étude 1, 46/100 étude 2). Nous nous retrouvons peut-être ici face à une des limites des mesures auto-rapportées sur une échelle visuelle-analogique, ou alors sur un effet d'échantillonnage. Pour terminer, sur l'estimation du temps passé sur la tâche, les deux groupes l'ont légèrement sous-estimé en indiquant une valeur d'environ 24 minutes au lieu de 30 minutes. Cette mesure était exploratoire, mais l'absence de différence entre les deux tâches ne permet pas de faire de conclusion solide dessus, comme un engagement plus important dans l'une des deux tâches.

L'ensemble de nos résultats indique que la tâche Vidéo est une tâche plus adaptée que la tâche de Lecture pour jouer le rôle de tâche contrôle dans le cadre du protocole des tâches séquentielles et le champ de l'épuisement du soi.

## 2.5. Etude 3

### 2.5.1. Introduction

Dans cette troisième étude, nous avons essayé de répliquer l'effet d'épuisement du soi, en utilisant cette fois-ci la tâche Vidéo comme tâche de contrôle, qui semble être plus adaptée que la tâche de Lecture dans ce rôle. Dans cette étude, nous avons aussi décidé de changer le design expérimental, passant d'un design inter-participants à un design intra-participants. Ce choix méthodologique a été fait afin d'obtenir une puissance similaire et une plus grande homogénéité dans les mesures avec moins de participants (Francis et al., 2018). De plus, ce changement nous a permis d'éviter des différences de groupes sur le trait d'autocontrôle ou d'autres traits de personnalité que nous n'aurions pas identifiés ou mesurés. Enfin, nous avons rajouté une session d'entraînement des participants afin de contrôler un possible effet d'entraînement dans la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement. Les hypothèses principales et secondaires restent les mêmes que pour la première étude.

### 2.5.2. Méthode

#### 2.5.2.1. Participants

Cinquante-cinq jeunes adultes (37 femmes,  $M_{\text{âge}} = 19.84$  ans,  $ET = 2.23$ ) en sciences du sport ou recrutés sur les réseaux sociaux (Twitter et Facebook) ont participé à cette expérience en échange d'un point bonus ou de 20 €, respectivement. La taille d'échantillon a été déterminée en utilisant G\*Power 3.1.9.2 (Faul et al., 2007) avec un  $d = 0.30$ , seuil  $\alpha = .05$  et une puissance de 90%. Les données de la première étude nous ont permis de déterminer la corrélation entre les mesures répétées de la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement avec  $r = .80$ . Ainsi, selon G\*Power, 49 participants étaient un nombre suffisant pour détecter l'effet. En suivant les règles d'exclusions présentées dans la section 2.2.5, nous avons retiré 4 participants des analyses, tous étant des participants atypiques sur le temps de maintien.

#### 2.5.2.2. Procédure

La procédure globale était la même que celle présentée dans la méthodologie générale. Cependant cette étude était composée de 4 sessions avec un design intra-participants. La première session était une session de familiarisation. La deuxième permettait d'établir le niveau

de base des participants dans la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement. Ces deux premières sessions suivaient le même protocole présenté dans la méthodologie générale et utilisée lors de la session 1 (Figure 4A). Les sessions 3 et 4 étaient les sessions expérimentales et étaient contrebalancées. Elles suivaient le même protocole que la session 2 de la méthodologie générale (Figure 4B). La tâche d'épuisement était la tâche de Stroop incongruente (section 2.2.2) et la tâche contrôle était la tâche Vidéo présentée dans l'étude 2. Lors de cette étude, l'ensemble des questionnaires était complété sur papier.

### **2.5.3. Résultats**

#### **2.5.3.1. Epuisement du soi**

Nous avons réalisé des comparaisons planifiées sur le temps de maintien à la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement en fonction de la session. Dans la première comparaison, nous avons mis en évidence que les participants tenaient moins longtemps la poignée après la session Stroop (codée 1 ;  $M = 5.27$  min,  $ET = 2.11$ ) qu'après la session Ligne de base et la session Vidéo (codée -0.5 chacune ;  $M = 5.67$  min,  $ET = 2.14$ ),  $t(100) = -2.52$ ,  $p = .013$ ,  $d_z = 0.41$ ,  $CI_{95} [0.12, 0.69]$  (Figure 16). La seconde comparaison n'a pas permis de mettre en évidence de différence entre la session Ligne de base (codée 1 ;  $M = 5.66$  min,  $ET = 2.16$ ) et la session Vidéo (codée -1 ;  $M = 5.69$  min,  $ET = 2.37$ ),  $t(100) = 0.18$ ,  $p = .858$ ,  $d_z = 0.02$ ,  $CI_{95} [-0.25, 0.30]$ . Nous avons choisi de faire ces comparaisons planifiées plutôt que des comparaisons deux à deux afin de respecter l'orthogonalité de l'analyse.

Nous avons réalisé les mêmes analyses en faisant des test-t appariés Bayésien. Pour la première comparaison (Stroop vs Ligne de base + Vidéo), nous nous attendions à un effet de  $d = 0.30$ . Nous avons donc placé un Prior informatif de Cauchy avec une localisation à 0.30 et une envergure  $r = 0.707$ . Les résultats étaient en faveur de l'hypothèse alternative (i.e., il existe bien une différence) :  $BF_{10} = 8.21$ , pourcentage d'erreur  $< 0.001$ . Pour la seconde comparaison (Ligne de base vs Vidéo), nous nous attendions à ce que les deux groupes soit égaux, nous avons donc choisi un Prior informatif de Cauchy avec une localisation à 0 et une envergure  $r = 0.707$ . Le résultat était en faveur de l'hypothèse nulle (i.e., il n'y a pas de différence) :  $BF_{01} = 6.48$ , pourcentage d'erreur = 0.05.

Nous avons aussi testé la robustesse de nos analyses bayésiennes en faisant les mêmes analyses, mais en utilisant un Prior par défaut (localisation à 0 et envergure  $r = 0.707$ ). La

première comparaison reste en faveur de l'hypothèse alternative avec un  $BF_{10} = 6.50$ , un pourcentage d'erreur  $< 0.001$  et un Prior « ultra-large » :  $BF_{10} = 3.99$ . La seconde comparaison reste en faveur de l'hypothèse nulle avec un  $BF_{01} = 6.48$ , un pourcentage d'erreur  $< 0.001$ , et un Prior « ultra-large » tel que  $BF_{01} = 12.62$ .

Enfin, nous avons réalisé une analyse afin de mesurer l'effet d'entraînement (augmentation de la performance) entre la session d'entraînement ( $M = 5.47$ ,  $ET = 2.07$ ) et la session Ligne de base ( $M = 5.66$ ,  $ET = 2.16$ ). L'augmentation de la performance de 3.4% n'était cependant pas significative,  $t(50) = 0.96$ ,  $p = .344$ .

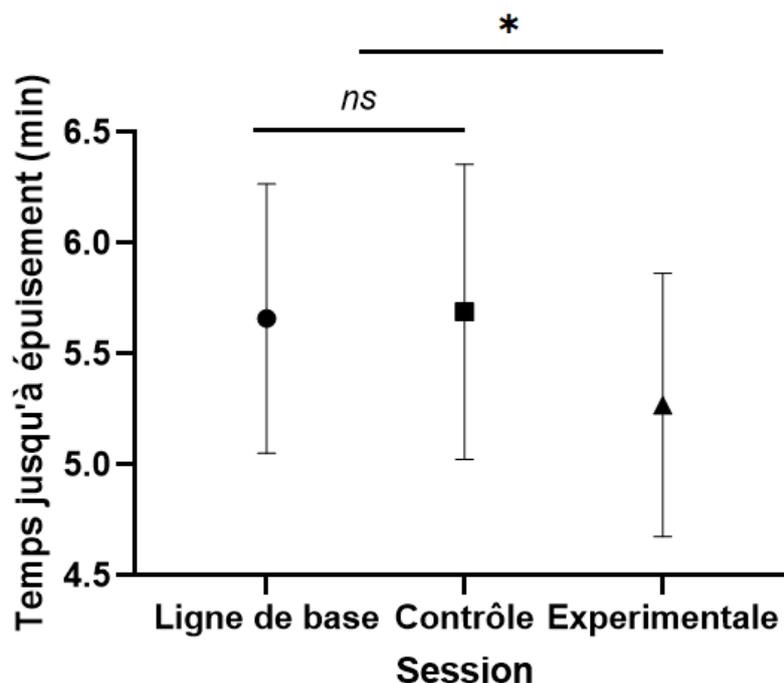


Figure 16. Temps de maintien jusqu'à épuisement lors de la tâche de serrage manuel en fonction de la session. Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance 95%.

### 2.5.3.2. L'épuisement au cours de la tâche de Stroop

Nous avons aussi mesuré l'épuisement au cours de la tâche de Stroop. Pour se faire, nous avons calculé un score d'efficacité inverse :  $ES = \frac{TR}{1 - \text{Taux d'erreur}}$ . Ce calcul permet de prendre en compte le temps de réaction (TR) aux essais corrects (au numérateur) et le taux d'erreurs de décision (au dénominateur). Le score d'efficacité inverse est exprimé en millisecondes. Plus il est élevé, moins bonne est la performance. Ainsi, plus le temps de réaction et plus le taux d'erreur sont élevés, plus la performance est mauvaise. Nous avons découpé la durée de la tâche

de Stroop en 4 périodes : période 1 = essais 1 à 222, période 2 = essais 223 à 444, période 3 = essais 445 à 666 et enfin période 4 = essais 667 à 888.

Nous avons réalisé une ANOVA avec le temps passé sur la tâche de Stroop (Période 1 vs 2 vs 3 vs 4) comme variable intra-sujets sur le score d'efficacité inverse. Le score d'efficacité inverse augmentait bien avec le temps passé sur la tâche :  $F(2.33, 116.28) = 9.53, p < .001, \eta^2_p = .160, CI_{95} [.056, .253]$ . Les comparaisons post-hoc nous ont indiqué que les participants étaient plus efficaces lors de la période 1 ( $M = 703, ET = 101$ ) que lors de la période 2 ( $M = 725, ET = 101$ ), de la période 3 ( $M = 735, ET = 104$ ) et de la période 4 ( $M = 741, ET = 107$ ),  $t(50) = 3.22, p = .013, t(50) = 3.66, p = .004$  et  $t(50) = 3.94, p = .002$ , respectivement. Les autres comparaisons n'étaient pas significatives (Figure 17).

De plus, le contraste linéaire nous a indiqué une progression linéaire de l'augmentation du score d'efficacité inverse en fonction du temps passé sur la tâche :  $t(150) = 5.16, p < .001, \beta = 27.92, CI_{95} [17.22, 38.62]$ .

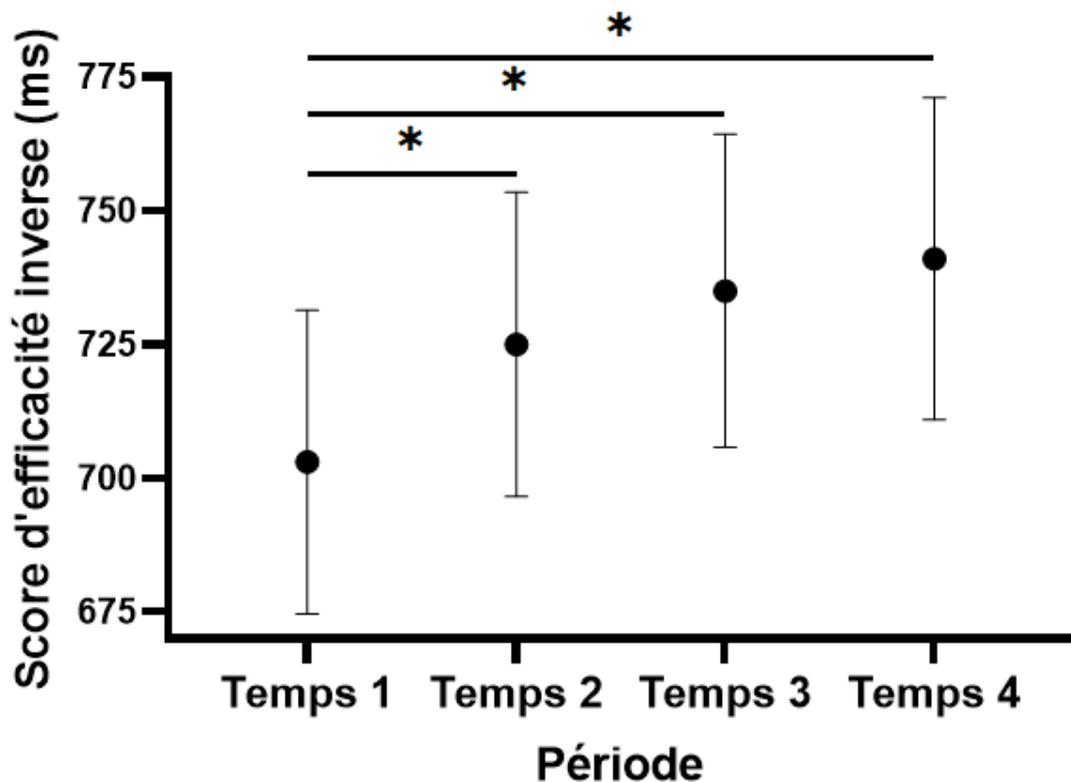


Figure 17. Score d'efficacité en fonction de la période sur la tâche de Stroop. Le score d'efficacité = le temps de réaction sur les essais corrects divisé par le pourcentage de bonnes réponses. Temps 1 = essais 1 à 222, Temps 2 = essais 223 à 444, Temps 3 = essais 445 à 666, Temps 4 = essais 667 à 888. Les barres d'erreur représentent l'intervalle 95%.

### 2.5.3.3. Contraction maximale volontaire

Afin de nous assurer que les participants commençaient chaque session avec le même niveau de force, les participants réalisaient une série de CMV. Nous avons réalisé une ANOVA avec la session (Session Ligne de base vs Session Vidéo vs Session Stroop) comme variable intra-sujets sur la force maximale produite lors des CMV. Le test s'est avéré significatif :  $F(2, 100) = 5.99, p = .003$ , et les tests post-hoc nous ont indiqué que la force était plus élevée lors de la session Vidéo ( $M = 16.4$  Kg,  $ET = 4.45$ ) que lors de la session Ligne de base ( $M = 15.7$  Kg,  $ET = 3.99$ ) :  $t(100) = 3.46, p = .002$ . En revanche la session Stroop ( $M = 16.0$  Kg,  $ET = 4.22$ ) ne s'est pas distinguée des deux autres sessions (Figure 18).

Afin de nous assurer que les participants avaient correctement réalisé la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement, nous avons mesuré la force avant et après cette tâche. Nous avons donc réalisé une ANOVA avec la session (Ligne de base vs Vidéo vs Stroop) et le moment (avant vs après) comme variables intra-sujets sur la force maximale produite. L'interaction ne s'est pas avérée significative :  $F(2, 100) = 0.15, p = .859$ . Cependant, l'effet principal de la session a atteint le seuil de significativité :  $F(2, 100) = 3.29, p = .041, \eta^2_p = .062, CI_{95} [0, .158]$ . Une comparaison post-hoc nous a indiqué que lors de la session Ligne de base les participants avaient une force plus faible que lors de la session Stroop :  $t(100) = 2.56, p = .036$ , mais les autres comparaisons ne sont pas avérées significatives. Enfin, nous avons observé un effet principal du moment, indiquant que les participants produisaient une force plus faible après la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement ( $M = 9.24, ET = 3.54$ ) comparativement à avant ( $M = 15.5, ET = 4.09$ ) :  $F(1, 50) = 377.13, p < .001, \eta^2_p = .883, CI_{95} [.815, .915]$ . Cela représente une baisse de force de 40%.

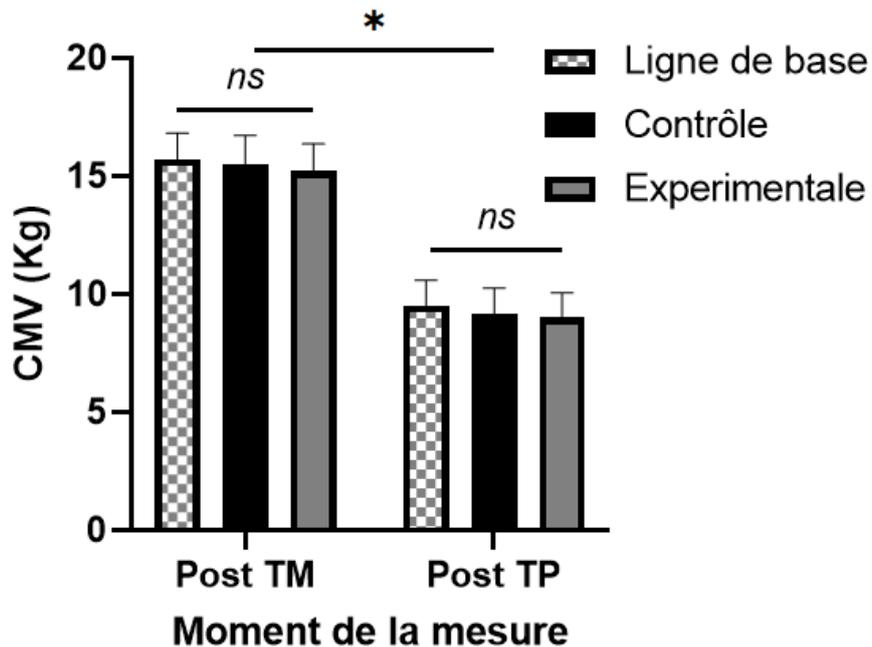


Figure 18. Contraction maximale volontaire en fonction de la session et du moment de la mesure. Post TM = après la tâche mentale, Post TP = après la tâche physique. Les barres d'erreur représentent l'intervalle 95%.

**2.5.3.4. Variables de contrôle : difficulté perçue, capacités utilisées, performance dans la tâche vidéo, performances prévues, satisfaction**

L'ensemble des moyennes et écart-types sont donnés dans le tableau 3.

Les participants ont perçu la tâche de Stroop plus difficile que la tâche Vidéo :  $t(50) = -15.40, p < .001, d_z = 2.16, CI_{95} [1.65, 2.66]$ . En revanche, ils n'ont pas perçu de différence dans la difficulté de la tâche physique après avoir réalisé la tâche mentale, quelle qu'elle soit :  $t(50) = -0.7, p = .487$ .

Les participants ont rapporté avoir utilisé plus de capacités mentales pour réaliser la tâche de Stroop que la tâche Vidéo :  $t(50) = -7.84, p < .001, d_z = 1.10, CI_{95} [0.75, 1.44]$ . En revanche ils n'ont pas rapporté de différence dans l'utilisation des capacités physiques lors de la réalisation de ces mêmes tâches :  $t(50) = -1.51, p = .138$ .

Les participants n'ont pas rapporté avoir utilisé plus de capacités mentales ou physiques pour réaliser la tâche physique après avoir fait l'une des deux tâches mentales :  $t(50) = 1.81, p = .077$ , et  $t(50) = 0.36, p = .724$ , respectivement.

Les participants n'ont pas rapporté de différence dans l'importance à réaliser la tâche physique après avoir réalisé l'une des deux tâches mentales  $t(50) = 0.65, p = .516$ . Ils ne rapportent pas non plus de différence dans la satisfaction à la performance qu'ils ont réalisée dans la tâche physique après avoir réalisé les tâches mentales :  $t(50) = 1.12, p = .269$

A la fin de la session Vidéo, les participants devaient répondre à des questions portant sur la vidéo qu'ils avaient vue, afin de s'assurer qu'ils avaient bien prêté attention à celle-ci. Nous avons donc réalisé un test t pour un seul échantillon. Les résultats ont indiqué qu'ils avaient mieux répondu que le hasard (50%) :  $t(50) = 19.5, p < .001$ .

| <i>Questions</i>                      | <i>Moyenne Stroop (ET)</i> | <i>Moyenne Vidéo (ET)</i> |
|---------------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| <i>Difficulté tâche mentale (TM)</i>  | 70.7 (19.8)                | 14.9 (18.5)               |
| <i>Difficulté tâche physique (TP)</i> | 70.4 (17.8)                | 68.8 (21.5)               |
| <i>Capacité mentale TM</i>            | 79.8 (22.6)                | 48.2 (29.3)               |
| <i>Capacité physique TM</i>           | 16.7 (23.9)                | 11.5 (18.6)               |
| <i>Capacité mentale TP</i>            | 57.8 (31.1)                | 63.8 (28.5)               |
| <i>Capacité physique TP</i>           | 84.7 (15.2)                | 85.3 (14.3)               |
| <i>Importance TP</i>                  | 70.3 (24.6)                | 68.6 (22.1)               |
| <i>Satisfaction TP</i>                | 51.7 (24.0)                | 55.2 (22.8)               |
| <i>Performance vidéo</i>              | NA                         | 81.4% (11.5%)             |

Tableau 3. Moyennes et écart-types des variables de contrôle en fonction de la session.

### 2.5.3.5. Fatigue ressentie

Nous avons conduit une ANOVA avec la session (Vidéo vs Stroop) et le moment (avant la tâche mentale vs après la tâche mentale vs après la tâche physique) comme variable intra-sujets sur la fatigue ressentie par les participants. L'interaction s'est avérée significative :  $F(2, 100) = 7.96, p < .001, \eta^2_p = .137, CI_{95} [.029, .254]$  (Figure 19). Les tests post-hoc n'ont pas mis en évidence de différence entre les deux sessions avant les tâches mentales (Stroop,  $M = 22.4, SD = 22.1$ ; Vidéo,  $M = 21.1, SD = 16.6$ ) :  $t(114) = -0.44, p = 1, d_z = 0.10, CI_{95} [-0.18, 0.37]$ . Pendant la session Vidéo, la tâche de visionnage du documentaire n'a pas augmenté la fatigue ( $M = 27.5, SD = 22.2$ ), alors que la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement l'a augmenté ( $M = 35.1, SD = 23.2$ ) de manière marginale  $t(184) = -2.32, p = .189$ , et  $t(184) = -2.77, p$

= .067, respectivement. Pendant la session Stroop, la tâche de Stroop ( $M = 41.7$ ,  $SD = 28.5$ ) a augmenté la sensation de fatigue des participants, alors que la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement ne l'a pas augmenté significativement ( $M = 43.4$ ,  $SD = 28.9$ ) :  $t(184) = -7.66$ ,  $p < .001$ , et  $t(184) = -0.17$ ,  $p = 1$ , respectivement. Enfin, après la tâche de Stroop les participants se sentaient plus fatigués qu'après la tâche Vidéo :  $t(114) = -4.81$ ,  $p < .001$ .

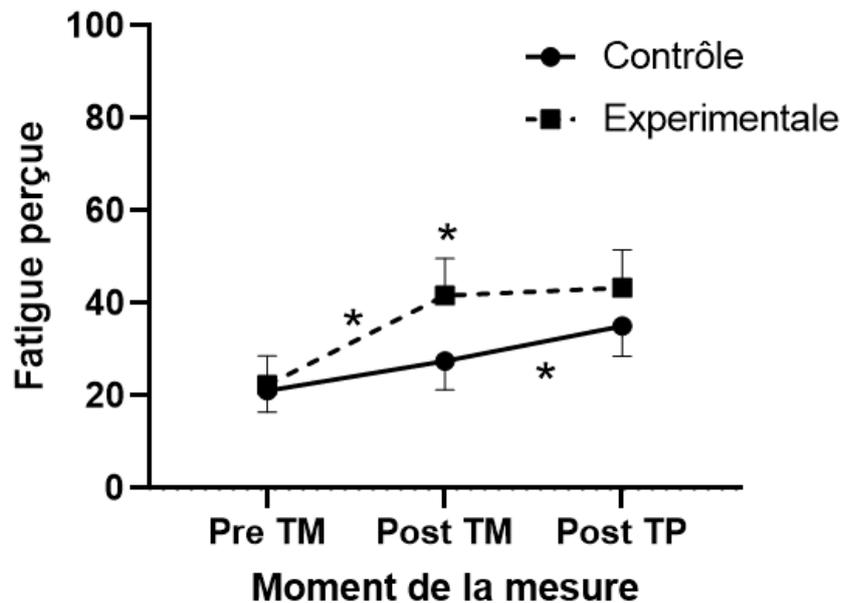


Figure 19. Fatigue perçue en fonction de la session et du moment de la mesure. Pre TM = avant la tâche mentale, Post TM = après la tâche mentale, Post TP = après la tâche physique. Les barres d'erreur représentent l'intervalle 95%.

### 2.5.3.6. Motivation

#### Motivation à faire la tâche mentale

Nous avons réalisé la même ANOVA sur la motivation à faire la tâche mentale que pour la fatigue. L'interaction s'est révélée significative :  $F(1.84, 92.06) = 24.4$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2_p = .328$ ,  $CI_{95} [.171, .450]$  (Figure 20A). Selon les comparaisons post-hoc, les participants étaient moins motivés à réaliser la tâche de Stroop ( $M = 70.2$ ,  $ET = 18.6$ ) que la tâche Vidéo ( $M = 80.2$ ,  $ET = 14.9$ ) avant le début de la tâche :  $t(140) = 2.97$ ,  $p = .040$ . Lors de la session vidéo, les participants étaient moins motivés à refaire la tâche juste après l'avoir réalisée ( $M = 58.2$ ,  $ET = 24.7$ ) qu'avant :  $t(190) = 6.37$ ,  $p < .001$ . Cependant, après avoir réalisé la tâche de serrage

manuel jusqu'à épuisement ( $M = 50.3$ ,  $ET = 23.1$ ) la motivation n'était pas différente comparativement à juste avant :  $t(190) = 2.28$ ,  $p = .207$ . Lors de la session Stroop, les participants étaient moins motivés à refaire la tâche de Stroop après l'avoir faite ( $M = 18.3$ ,  $ET = 24.4$ ) qu'avant :  $t(190) = 14.98$ ,  $p < .001$ . Mais la motivation n'a pas continué à décroître après la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement ( $M = 22.8$ ,  $ET = 24.8$ ) :  $t(190) = -1.30$ ,  $p = 1$ .

Même si la motivation était plus faible après la tâche mentale qu'avant lors des deux sessions, elle était beaucoup plus basse après la tâche de Stroop qu'après la tâche Vidéo :  $t(140) = 11.81$ ,  $p < .001$ . Enfin, lorsque nous avons ajouté la motivation (score composite : motivation après la tâche mentale – motivation avant la tâche mentale) comme covariable dans l'effet d'épuisement du soi, alors celui-ci disparaît :  $F(2, 98) = 0.67$ ,  $p = .513$ . Ainsi l'effet d'épuisement du soi peut, au moins partiellement, être expliqué par le changement dans la motivation à réaliser la tâche mentale.

#### Motivation à faire la tâche physique

Nous avons réalisé une ANOVA avec la session (Stroop vs Vidéo) et le moment (avant la tâche physique vs après) comme variable intra-sujets, sur la motivation à réaliser la tâche physique (Figure 20B). Ni l'interaction ni l'effet principal de la session ne se sont avérés significatifs :  $F(1, 50) = 0.26$ ,  $p = .614$  et  $F(1, 50) = 0.11$ ,  $p = .739$ , respectivement. En revanche l'effet du moment était significatif  $F(1, 50) = 154.7$ ,  $p < .001$ . Les participants se sont perçus moins motivés à refaire la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement après l'avoir réalisée comparativement à avant.

#### Motivation à faire une tâche plus agréable

Nous avons réalisé la même ANOVA que pour la motivation à faire la tâche physique, mais cette fois-ci sur la motivation à faire une tâche plus agréable (Figure 20C). Ni l'interaction ni les effets principaux de la session ou du moment ne se sont avérés significatifs :  $F(1, 50) = 0.54$ ,  $p = .465$ ,  $F(1, 50) = 0.00$ ,  $p = .983$ , et  $F(1, 50) = 0.97$ ,  $p = .329$ , respectivement.

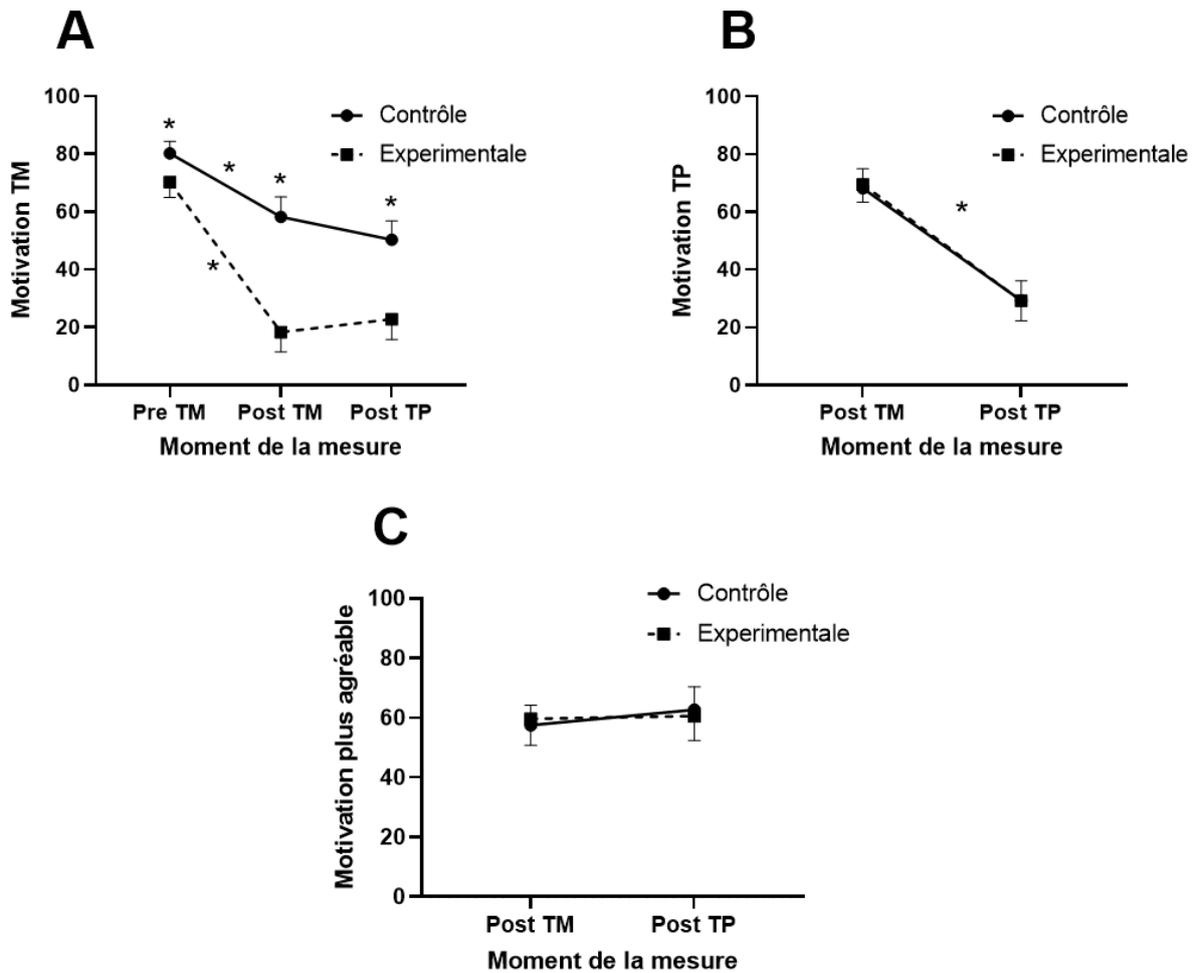


Figure 20. A) Motivation à réaliser la tâche mentale, B) motivation à réaliser la tâche physique, C) motivation à réaliser une tâche plus agréable en fonction du moment de la mesure et de la session. Pre TM = avant la tâche mentale, Post TM = après la tâche mentale, Post TP = après la tâche de serrage. Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance 95%.

### 2.5.3.7. Ennui à faire la tâche mentale

Nous avons réalisé un *t* de Student sur l'ennui ressenti lors des deux tâches mentales. Les participants ont rapporté s'être plus ennuyés lors de la réalisation de la tâche de Stroop ( $M = 52.6$ ,  $ET = 29.8$ ) que lors de la tâche vidéo ( $M = 22.9$ ,  $ET = 20.5$ ) :  $t(50) = 7.38$ ,  $p < .001$ ,  $d_z = 1.03$ ,  $CI_{95} [0.69, 1.37]$  (Figure 21).

De plus, le sentiment de fatigue après chaque tâche mentale était corrélé avec l'ennui ressenti dans cette même tâche mentale : Vidéo :  $r = .29$ ,  $p = .038$  ; Stroop :  $r = .38$ ,  $p = .006$ .

Le changement dans la motivation à faire la tâche mentale (score composite : motivation après la tâche mentale – motivation avant) était aussi corrélé à l’ennui ressenti pendant ces tâches : Vidéo :  $r = -.43, p = .002$  ; Stroop :  $r = -.31, p = .028$ . Enfin, lorsque l’ennui est ajouté comme covariable dans l’effet d’épuisement du soi, alors celui-ci disparaît  $F(2, 96) = 0.16, p = .857$ , indiquant que l’ennui peut expliquer, au moins partiellement, l’effet d’épuisement.

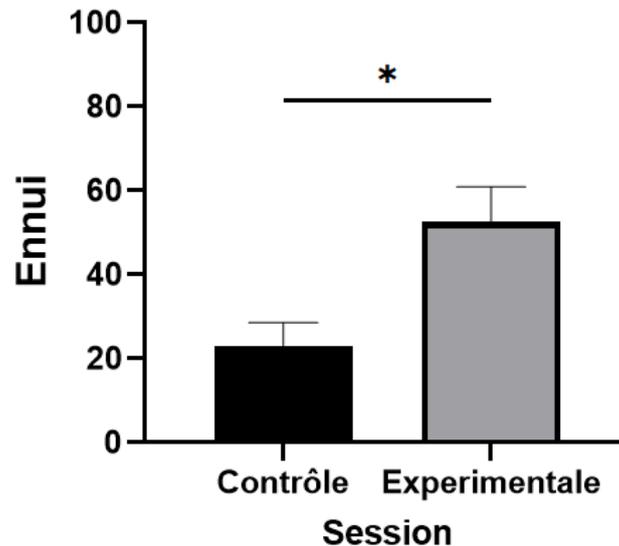


Figure 21. Ennui ressenti par les participants dans la tâche mentale en fonction de la session. Les barres d’erreur représentent l’intervalle 95%.

#### **2.5.3.8. Efficacité personnelle à réaliser la tâche physique et perception de performance de la tâche physique**

L’efficacité personnelle avant de réaliser la tâche de serrage manuel jusqu’à épuisement et la perception de la performance après avoir réalisé la tâche de serrage manuel jusqu’à épuisement ne sont pas avérées différentes entre les sessions Vidéo et Stroop :  $t(50) = 1.64, p = .107$  et  $t(50) = 1.67, p = .101$ , respectivement.

Lorsque l’on ajoute l’efficacité personnelle (score composite : efficacité personnelle à la session Vidéo – celle à la session Stroop) en covariable dans l’effet d’épuisement du soi (ANOVA à mesures répétées sur le temps de maintien dans la tâche de serrage manuel jusqu’à épuisement en fonction de la session, i.e., Vidéo vs Stroop), cela ne change pas l’effet de la session. L’effet d’interaction entre la session et l’efficacité personnelle n’était pas significatif :  $F(1, 49) = 1.44, p = .236$ . Cependant, l’effet principal de l’efficacité personnelle était

significatif,  $F(1, 49) = 6.83, p = .012$ , indiquant que plus les participants pensaient qu'ils allaient faire une bonne performance et plus ils tenaient longtemps.

Enfin, lorsqu'on ajoutait la perception de la performance (score composite) dans l'effet d'épuisement du soi, alors l'effet de session devenait marginal :  $F(1, 49) = 3.31, p = .075$ . En revanche il y avait une interaction entre la perception de la performance et la session :  $F(1, 49) = 13.72, p < .001$ . Plus les participants pensaient avoir tenu plus longtemps à une session comparativement à l'autre, et plus c'était le cas.

### **2.5.3.9. Perception de l'effort et de la douleur pendant la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement**

Comme lors de la première étude, nous avons réalisé une ANOVA avec la session (Ligne de base vs Vidéo vs Stroop) et l'individual isotime (0% vs 33% vs 66% vs 100%) comme variables intra-sujets sur la perception de l'effort et la perception de la douleur lors de la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement. Pour la perception de l'effort, l'interaction s'est révélée significative :  $F(3.84, 176.61) = 3.68, p = .007, \eta^2_p = .074, CI_{95} [.006, .140]$ . Les tests post-hoc n'ont pas mis en évidence de différence entre les trois sessions pour les points à 0% et 33% de l'individual isotime. En revanche, à 66%, les participants ont rapporté un effort plus important lors de la session Stroop que lors de la session Ligne de base :  $t(255) = 3.40, p < .001$ . A 100% de l'individual isotime, les participants ont rapporté produire plus d'effort lors de la session Stroop que lors de la session Vidéo, mais aussi que lors de la session Ligne de base :  $t(255) = 3.74, p < .001$ , et  $t(255) = 5.55, p < .001$ , respectivement (Figure 22A). De plus, nous avons pu observer un effet principal de l'individual isotime :  $F(1.78, 82.00) = 331.26, p < .001, \eta^2_p = .878, CI_{95} [.826, .905]$ , indiquant que la perception de l'effort augmentait tout au long de la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement.

Pour la perception de la douleur, aucune interaction entre la session et l'individual isotime n'a été observée :  $F(3.80, 174.78) = 1.86, p = .123$  (Figure 22B). Nous n'avons pas non plus observé d'effet de la session :  $F(2, 276) = 2.28, p = .108$ . Enfin, nous avons observé un effet de l'individual isotime :  $F(1.41, 64.95) = 229.04, p < .001, \eta^2_p = .833, CI_{95} [.752, .874]$ . La perception de la douleur musculaire augmentait tout au long de la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement.

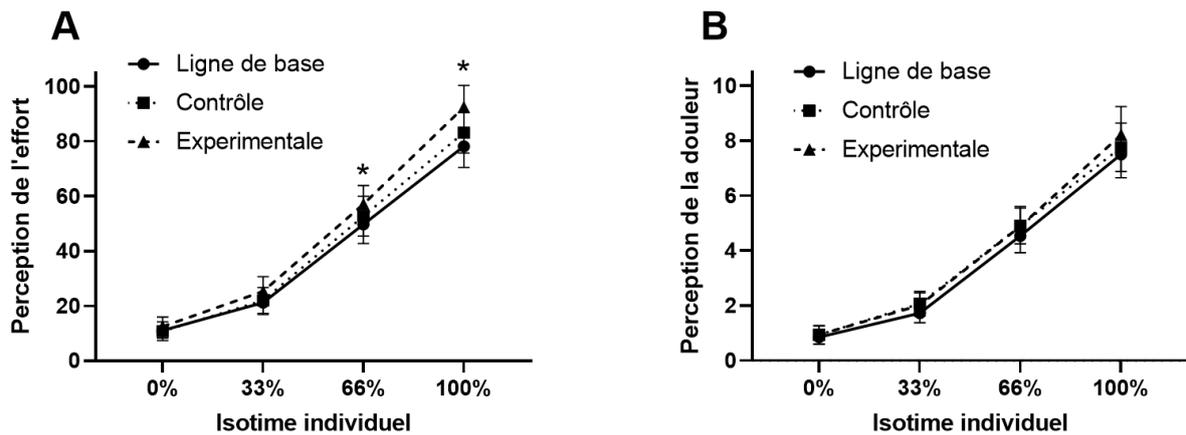


Figure 22. A) perception de l'effort, B) perception de la douleur en fonction de la session et de l'isotime individuel. Les barres d'erreur représentent l'intervalle 95%.

### 2.5.3.10. Les traits de personnalités : trait d'autocontrôle, croyance et sensibilité

A la fin de la dernière session, les participants répondaient à trois échelles de personnalités. Les corrélations entre l'effet d'épuisement du soi (rapport du temps de maintien lors de la session Vidéo et de la session Stroop :  $rapport = \frac{session\ Stroop - session\ Vidéo}{session\ Vidéo}$ ) et les échelles de personnalité ne se sont pas avérées significatives (voir tableau 4).

Cependant, une corrélation positive significative a été observée entre le trait d'autocontrôle et le temps de maintien dans la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement observé lors de la session Vidéo :  $r = .295, p = .036$ . Cette même corrélation était marginale lors de la session Stroop :  $r = .249, p = .079$ . Ainsi, plus les participants avaient un trait d'autocontrôle élevé, et plus ils tenaient longtemps la poignée.

| Echelle                  | Trait d'autocontrôle  | Croyance              | Sensibilité           |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Epuisement du soi</b> | $r = -.108, p = .449$ | $r = -.081, p = .572$ | $r = -.011, p = .938$ |

Tableau 4. Corrélation entre l'effet d'épuisement du soi et les échelles de personnalité

## 2.5.4. Discussion

Dans cette troisième étude, nous avons pu répliquer l'effet d'épuisement du soi avec une tâche Stroop incongruente comme tâche d'épuisement, et une tâche de visionnage d'un documentaire émotionnellement neutre et ne demandant que peu d'effort (tâche Vidéo) comme

tâche contrôle. Dans notre réplique de l'effet d'épuisement du soi, nous avons pu mettre en évidence que lorsqu'il n'y a pas de tâche mentale ou lorsque la tâche mentale ne sollicite pas les fonctions exécutives, alors la performance à la tâche subséquente est similaire. En revanche, la réalisation d'une tâche d'épuisement de 30 minutes sollicitant fortement les fonctions exécutives fait baisser les performances d'une tâche de contraction isométrique des muscles de l'avant-bras jusqu'à épuisement. Nous avons également pu mettre en évidence que la tâche de Stroop induisait un ennui important (53/100) et un sentiment de fatigue alors que ce n'était pas le cas pour la tâche Vidéo. La tâche de Stroop incongruente a aussi induit une baisse très importante de la motivation (-52%) à refaire la tâche mentale, alors que cette baisse était beaucoup plus légère pour la tâche Vidéo (-22%). Lorsque l'ennui ou la baisse de motivation sont entrés en covariable dans l'analyse de l'effet d'épuisement du soi celui-ci disparaît. Ce résultat suggère que l'ennui et la baisse de motivation sont des modérateurs, au moins partiels, de l'effet d'épuisement du soi. De plus, l'ennui était corrélé avec la motivation à réaliser la tâche mentale, mais aussi avec la fatigue ressentie après avoir réalisé cette même tâche. Il est donc possible qu'une de ces trois variables influence les deux autres. Cependant, notre étude ne permet pas de définir le sens de ces relations, ni même si une autre variable détermine ces trois-là. Il est tout de même intéressant de noter que Eastwood et al. (2012) ont fait une revue de littérature indiquant que l'ennui était associé à des effets négatifs comme de la colère, de la tristesse ou encore un déplaisir. De plus, 20 minutes d'une tâche ennuyeuse semble induire plus de fatigue que 20 minutes d'une tâche requérant de l'effort (Milyavskaya et al., 2019). Enfin, selon le modèle de significations et composants de l'ennui (Westgate & Wilson, 2018), les participants qui s'ennuient sont moins motivés à continuer les tâches ennuyeuses, mais sont motivés à changer pour une activité plus agréable. Ces différents arguments sont en faveur d'un lien de causalité entre l'ennui et l'augmentation de la fatigue et la diminution de la motivation. De plus, cela suggère que le phénomène d'épuisement du soi serait expliqué par plusieurs facteurs, dont une baisse des capacités d'autocontrôle, une baisse de la motivation, mais aussi une augmentation de l'ennui et de la sensation de fatigue.

En concordance avec les études sur l'attention soutenue (Esterman & Rothlein, 2019), nous observons une baisse de performance (score d'efficacité inverse) avec le temps passé sur la tâche de Stroop. En s'appuyant sur le modèle de la force de l'autocontrôle (Baumeister et al., 2007; Baumeister et al., 1998), cela indiquerait que les capacités d'autocontrôle commenceraient à s'épuiser assez rapidement. En effet nous observons une différence entre la première partie de la tâche de Stroop (les 7.5 premières minutes) et les autres parties. De plus

cette augmentation semble linéaire tout au long de la tâche, avec donc une dégradation continue de la performance. Cela est un indice important envers l'effet de la durée de la tâche de Stroop comme facteur déterminant à l'observation de l'effet d'épuisement du soi dans la tâche subséquente. Plus un participant va passer de temps sur la tâche de Stroop et plus il utilisera ses capacités de contrôle amenant à un épuisement plus important et donc une performance d'autant plus réduite dans la tâche suivante.

Il est intéressant de noter que nos manipulations expérimentales semblent avoir correctement fonctionné. En effet, la tâche de Stroop a été perçue comme plus difficile et demandant plus de capacité mentale pour être réalisée que la tâche Vidéo. Les participants ont aussi réalisé la tâche Vidéo avec attention puisque leur score de réussite était supérieur à 80%. Ils ont en outre rapporté avoir accordé une importance élevée à la réalisation de la tâche physique (environ 70/100). Aucune différence significative entre les deux sessions (Stroop vs Vidéo) n'a été observée sur leur satisfaction quant à la performance réalisée dans la tâche physique. Enfin, le fait que les participants ont rapporté le même taux d'engagement des capacités physiques dans la tâche mentale et que ce taux soit très bas (environ 10/100) nous indique qu'ils comprenaient bien les questions et y répondaient correctement. Enfin, les participants ont respecté la consigne de tenir le plus longtemps possible lors de la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement car cela était visible sur la performance lors des CMV avant et après la tâche physique avec une baisse d'environ 41% de la CMV, et cela de manière similaire lors des trois sessions (i.e., Ligne de base, Vidéo, Stroop). Concernant la CMV, nous avons également observé une légère baisse entre avant et après la tâche mentale (environ 5%) de manière similaire à la première étude dans les deux sessions Stroop et Vidéo. Cela confirme, comme proposé après la première étude, que c'est certainement une absence d'échauffement après les 30 minutes de la tâche mentale qui induit cette petite baisse de performance.

Le modèle de processus d'épuisement du soi d'Inzlicht (2012) prédit que la motivation à faire des tâches sollicitant de l'autocontrôle devrait être réduite après la première réalisation d'une tâche sollicitant de l'autocontrôle, et qu'il devrait aussi y avoir une augmentation de la motivation à faire des tâches plus agréables. Or nos résultats ne vont que partiellement dans ce sens. En effet, les participants sont moins motivés à refaire la tâche d'épuisement après l'avoir faite, mais nous n'observons pas de différence dans la motivation à faire la tâche physique entre les deux sessions. Que les participants aient fait la tâche d'épuisement ou la tâche contrôle, cela ne semble pas avoir modifié leur motivation à faire la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement, qui est aussi une tâche sollicitant l'autocontrôle. De plus, nous n'avons pas observé

de différence dans la motivation à faire une tâche plus agréable entre les deux sessions, ni avant ou après la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement. Ainsi, que les participants aient fait une tâche difficile et sollicitant l'autocontrôle ou une tâche facile et ne sollicitant pas ou peu l'autocontrôle, cela n'a pas eu d'influence sur la motivation à faire la tâche physique ou une tâche plus agréable.

Conformément à nos attentes et en accord avec la théorie de l'intensité de la motivation (Richter et al., 2016) et les prédictions de Wright (2014), lorsque les participants étaient fatigués cognitivement, ils avaient la sensation d'investir plus d'effort dans la réalisation de la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement, et cela surtout en fin de tâche. Par ailleurs, ces résultats sont similaires à ceux observés dans la littérature sur la fatigue cognitive (Pageaux & Lepers, 2018). En revanche, notre étude n'a pas permis de mettre en évidence une augmentation de la douleur lors de la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement après la réalisation de la tâche de Stroop comparativement à la tâche Vidéo ou à l'absence de tâche mentale. Dans notre étude, nous nous intéressions à la perception de la douleur survenant d'elle-même dans un muscle isolé en fonction du temps passé sur la tâche, alors que dans la littérature, les études s'intéressent régulièrement à la douleur induite (Silvestrini & Rainville, 2013; Vohs et al., 2008) ou à une douleur naturelle, mais sur un ensemble de muscle (Boat et al., 2020). Une dernière possibilité ici est un manque de puissance ne permettant pas de mettre en évidence une taille d'effet suffisante dans le cas de la douleur dans un muscle isolé, contrairement à l'étude de Boat et al. (2020) dans laquelle plusieurs groupes musculaires étaient engagés.

Contrairement à plusieurs études (Graham et al., 2016; Graham & Bray, 2015), nous n'avons pas pu montrer le rôle médiateur de l'efficacité personnelle sur l'effet d'épuisement du soi. Cependant nous avons observé que, indépendamment de la tâche faite au préalable, le sentiment d'efficacité personnelle semble impacter le temps de maintien à la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement. En effet, les participants ayant la plus haute efficacité personnelle étaient aussi ceux qui maintenaient la contraction isométrique le plus longtemps. Finalement, les participants qui avaient la perception d'avoir fait une meilleure performance à une session comparativement à l'autre étaient ceux qui réalisaient une meilleure performance.

Contrairement à la littérature (Dang et al., 2017; Graham & Bray, 2015; Job et al., 2010; Salmon et al., 2014; Tangney et al., 2004), nous n'avons pas observé de lien entre les échelles de personnalité et l'effet d'épuisement du soi. Le trait d'autocontrôle, qui n'était pas non plus corrélé avec l'effet d'épuisement du soi, était cependant corrélé avec le temps de maintien des

participants. Ainsi les participants avec un trait d'autocontrôle plus élevé avaient tendance à maintenir la contraction isométrique plus longtemps. Plusieurs possibilités sont envisageables. La première serait un problème méthodologique dans la traduction des échelles. Il est possible que la traduction que nous en avons faite, même si nous avons fait une traduction inverse pour vérifier que nous conservions bien les concepts associés aux phrases, ne soit pas tout à fait correcte. Ainsi nous n'aurions pas mesuré exactement ce que nous cherchions à mesurer. Cependant, cette explication ne semble pas entièrement robuste puisque malgré tout le trait d'autocontrôle semble bien prédire le temps de maintien. La deuxième possibilité est que l'effet de la croyance, de la sensibilité et du trait d'autocontrôle ne fonctionnent que pour des tâches plus courtes, là où théoriquement un épuisement du contrôle de soi est plus faible. C'est par ailleurs cohérent avec les résultats de Vohs et al. (2012) qui ont observé que l'effet de croyance ne fonctionne pas lorsque plusieurs tâches d'épuisement sont réalisées à la suite avant de faire la tâche dépendante, mais fonctionne lorsqu'il n'y a qu'une tâche courte (moins de 5 minutes).

Pour finir, l'effet d'entraînement entre la 1<sup>ère</sup> session et la session Ligne de base ne s'est pas avérée significative. Il est possible que nous manquions ici de puissance afin de mettre en évidence un effet qui serait de petite taille. Cependant, cette augmentation semble suffisante pour faire disparaître l'effet d'épuisement du soi et pourrait expliquer pourquoi lors de la première étude nous n'avons pas observé de baisse de performance entre la première et la deuxième session malgré la réalisation d'une tâche d'épuisement.

## **2.6. Etude 4, variation de la durée de la tâche, fréquence cardiaque et ondes cérébrales**

### **2.6.1. Introduction**

Dans l'étude précédente, nous avons réussi à répliquer l'effet d'épuisement du soi avec une tâche de 30 minutes. Dans le cadre théorique, nous avons vu que le temps passé sur la tâche pouvait être un facteur primordial dans l'observation de l'effet. Cela a été appuyé par les résultats de l'étude précédente avec la détérioration continue de la performance au cours de la tâche de Stroop. Cependant, dans les premières études, nous nous sommes juste placés dans les conditions optimales pour observer l'effet, mais nous n'avons pas manipulé le temps passé sur la tâche afin d'observer l'effet d'épuisement du soi. L'objectif de cette nouvelle étude est donc d'observer si le temps passé sur la tâche a un impact sur la performance. Au-delà de simplement

tester un effet de l'épuisement du soi, deux types de résultats sont potentiellement attendus. Le premier serait un effet en palier, comme c'est le cas dans l'étude de Brown & Bray (2017). Pour rappel, dans cette étude, les auteurs faisaient varier la durée du temps passé sur la tâche d'épuisement et observaient que lorsque la tâche durait 4 minutes ou moins il n'y avait pas d'effet d'épuisement du soi, alors que si la durée était de 6 minutes ou plus il y avait un effet significatif. Cependant, les conditions supérieures à 6 minutes ne se distinguaient pas entre elles. Ainsi, dans cette étude c'est un effet palier qui a été observé, avec soit une absence d'effet, soit tout le temps la même taille d'effet. Le deuxième type de résultat attendu serait un effet dose-réponse du temps passé sur la tâche, comme l'ont observé Boat et al. (2020). Dans cette étude, plus les participants passaient de temps sur la tâche d'épuisement et plus l'effet d'épuisement du soi était important. Dans le cas de l'étude de Brown & Bray (2017) cependant la tâche d'épuisement ne dépassait pas les 10 minutes, ce qui reste un temps relativement court. Il est donc tout à fait possible que la différence de 2 minutes entre les conditions soit trop faible pour faire émerger l'effet avec peu de participants. Quoiqu'il en soit ici deux hypothèses s'affrontent avec les théories qu'il y a derrière. Dans le cas d'un effet palier, il est plus probable que la baisse de performance soit due à une évaluation des coûts et bénéfices. Si les coûts dépassent les bénéfices, alors cela devrait produire un désengagement de l'individu dans la tâche et un évitement de toute tâche d'autocontrôle. Dans le cas d'un effet dose-réponse en revanche, une explication selon laquelle des capacités s'épuiseraient serait plus pertinente, rendant le modèle de la force de l'autocontrôle (Baumeister et al., 1998) ou le modèle intégratif du contrôle par l'effort (André et al., 2019) plus à même d'y répondre. Ainsi cette étude, en plus de tester le temps passé sur la tâche va tester indirectement les modèles explicatifs de l'effet d'épuisement du soi.

Par ailleurs, le modèle intégratif du contrôle par l'effort (André et al., 2019) propose que la baisse de performance observée dans le champ de l'épuisement du soi soit due à un affaiblissement du signal généré par les neurones pyramidaux du réseau de la saillance. Dans le même temps, les ondes thêta seraient un indicateur de l'effort mental et la puissance (synchronisation) augmenterait avec la difficulté de la tâche (Klimesch, 1999). Ainsi, pour maintenir l'engagement de l'effort malgré un épuisement du soi, André et al. (2019) proposent que les participants devraient générer une plus haute densité d'onde thêta (4 à 8 Hz). Cette prédiction est par ailleurs appuyée par l'étude de Boksem et al. (2005) dans laquelle ils ont pu mettre en évidence une augmentation des ondes thêta après 3 heures passées sur une tâche mentale. Dans le même temps, les ondes thêta seraient générées par le Cortex Cingulaire

Antérieur (CCA ; Leung & Borst, 1987) et ce dernier s'activerait lors de la détection de conflit cognitif comme lors de tâches sollicitant l'inhibition contrôlée (Kim et al., 2012b). Enfin le flux sanguin dans cette zone semble corrélé avec la difficulté de la tâche et avec l'activation du CCA dorsal (CCAd ; Paus et al., 1998; Shenhav et al., 2014). Ainsi, il serait possible de mesurer l'augmentation des ondes thêta en fonction du temps passé sur la tâche. Plus les participants passent de temps sur une tâche d'épuisement et plus ils devraient produire d'ondes thêta. De plus, ces ondes devraient être localisées au-dessus du CCAd et mesurables à l'aide d'un électro-encéphalogramme (EEG).

Enfin, la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) serait un indicateur de l'effort mental investi dans la tâche (Zahn et al., 2016). Le cerveau, et plus particulièrement le cortex préfrontal, siège des fonctions exécutives (Funahashi & Andreau, 2013), est relié au cœur via le système sympathique et parasympathique (Thayer et al., 2010). Cette variabilité, résultats de la connexion cœur-cerveau, proviendrait d'un avantage adaptatif afin d'optimiser les réactions de combat / fuite<sup>17</sup> (Porges, 2001). La variabilité du rythme cardiaque serait un indicateur de l'activité inhibitrice et excitatrice de l'organisme (Laborde et al., 2018). Ainsi, la théorie du réservoir vagal prédit qu'une tâche requérant un haut niveau d'autocontrôle devrait désengager le contrôle cardiaque vagal et donc augmenter la VFC. C'est ce qui a été observé par Segerstrom et Nes, (2007) dans une étude sur l'épuisement du soi. Dans celle-ci, les auteurs ont répliqué la tâche de Baumeister et al. (1998) sur les cookies et les légumes, et ont utilisé une tâche d'anagramme comme tâche dépendante. Ils ont pu mettre en évidence que les participants qui devaient résister aux cookies pour manger des légumes (i.e., des carottes) avaient une augmentation de la VFC plus importante par rapport à la ligne de référence, par comparaison aux participants qui pouvaient manger les cookies librement. Lorsque les participants réalisaient ensuite la tâche dépendante, ceux de la condition « faible épuisement » (i.e., qui ont mangé les cookies) avaient une augmentation de leur VFC dû à la demande importante dans la tâche dépendante. Cette augmentation n'a pas été observée pour la condition « fort épuisement » (i.e., ceux qui ont mangé les carottes) du fait de la tâche d'épuisement qui était déjà très sollicitante en contrôle cognitif. Pourtant la tâche d'épuisement n'a duré ici que 5 minutes. Il est donc possible de se demander si le temps passé sur la tâche d'épuisement permettra d'observer un effet dose-réponse sur la VFC ou si cette augmentation sera importante

---

<sup>17</sup> Fight / flight

au début de la tâche, mais ne progressera plus par la suite comme c'est le cas dans l'étude de Segerstrom & Nes (2007).

Dans cette quatrième étude, nous avons fait comme hypothèse principale que le temps passé sur la tâche d'épuisement (i.e., tâche de Stroop) aura un effet dose-réponse sur le temps de maintien à la tâche dépendante (i.e., serrage manuel jusqu'à épuisement). Pour être plus précis, nous nous attendons à ce que les participants lors de la session de 30 minutes tiennent la poignée moins longtemps que lors de la session 20 minutes, qui elle-même donnera lieu à un temps plus réduit que lors de la session 10 minutes, et que la session 0 minute de Stroop (i.e., 30 minutes de vidéo). C'est la session à 0 minute de Stroop qui devrait donner lieu au temps de maintien le plus long. Nous avons fait également l'hypothèse secondaire que la puissance des ondes thêta ainsi que la VFC devraient augmenter avec le temps passé sur la tâche d'épuisement.

## **2.6.2. Méthode**

### **2.6.2.1. Participants**

30 étudiants de sciences du sport et personnes recrutées par annonce (journal + Facebook) (17 femmes,  $M_{\text{âge}} = 23.60$  ans,  $ET_{\text{âge}} = 8.22$ ) ont participé à cette étude en échange de 30€ plus un point bonus ou d'une carte cadeau FNAC d'une valeur de 100€, respectivement. Cinq participants n'ont pas terminé l'étude à cause des différents confinements suite à la pandémie du Covid-19. Afin de ne pas réduire l'effectif d'autant plus, aucun autre participant n'a été exclu des analyses.

### **2.6.2.2. Procédure**

Cette étude a suivi la procédure présentée dans la méthodologie générale (voir section 2.2.1). Cependant, cette étude était composée de 5 sessions. La première session était une session d'entraînement, la deuxième session était la session contrôle, et les sessions 3 à 5 les sessions expérimentales. La tâche contrôle utilisée était le visionnage du documentaire de 30 minutes présenté dans l'étude 2 et utilisé dans l'étude 3. Lors des sessions expérimentales, la tâche mentale durait 30 minutes, cependant la durée du Stroop variait. Il y avait une session avec 10 minutes de Stroop, une avec 20 minutes et enfin une avec 30 minutes. Lorsque la tâche de Stroop durait moins de 30 minutes, la tâche mentale était complétée par une autre partie du documentaire pour aboutir à 30 minutes (i.e., la suite du documentaire vidéo lors de la tâche

contrôle) suivi de la tâche Stroop, (e.g., 20 minutes de vidéo puis 10 minutes de Stroop ou 10 minutes de vidéo suivie de 20 minutes de Stroop).

De plus, lors de cette étude nous mesurons des indicateurs électro physiologiques lors des sessions 2 à 5 pour lesquelles du matériel devait être installé. Ainsi la procédure pour ces sessions était la suivante : lorsque le participant arrivait, l'expérimentateur lui posait les questions sur son état psychologique (voir Annexe 3). Ensuite les électrodes pour l'ECG étaient installées sur le participant, ainsi que le boîtier permettant de mesurer le signal. Un bandeau mesurant la fréquence respiratoire était installé à son tour. Ensuite l'expérimentateur installait les électrodes faciales pour l'EKG, puis le bonnet pour les électrodes. Du gel était appliqué à l'intérieur des trous du bonnet, puis les 64 électrodes étaient installées. Enfin, le participant s'installait sur le fauteuil où l'expérience allait se dérouler. L'expérimentateur testait les électrodes afin de vérifier que l'ensemble fonctionnait correctement. Si une ou plusieurs électrodes ne fonctionnaient pas de manière optimale, alors l'expérimentateur nettoyait l'électrode et remettait du gel dans le trou correspondant puis y remplaçait l'électrode. Ensuite, le participant restait au repos pendant 5 minutes afin que l'expérimentateur recueille son rythme cardiaque au repos. L'ensemble de l'installation du matériel prenait entre 30 et 50 minutes. Suite à cela, la session se déroulait comme dans la méthodologie générale (section 2.2.1, figure 4B).

Enfin dans cette étude, nous avons retiré plusieurs questions afin d'alléger le temps de l'étude pour les participants. Ainsi nous avons conservé les questions sur la motivation, la fatigue, l'ennui, la difficulté de la tâche mentale, les capacités mentales utilisées dans la tâche mentale, les capacités physiques et mentales utilisées dans la tâche physique. Concernant les échelles de personnalité, nous n'avons conservé que le questionnaire de trait d'autocontrôle.

Afin de mesurer la variabilité de la fréquence cardiaque, nous avons utilisé le système Biopac avec le module Bionomadix. Trois électrodes ont été placées sur le torse des participants en suivant les recommandations de Kligfield et al. (2007). Avant de les placer, la peau des participants a été nettoyée avec une lingette hydroalcoolique. L'enregistrement de la FC s'est fait à une fréquence de 2k Hz.

Enfin, pour mesurer les ondes thêtas, nous avons utilisé un système d'acquisition BIOSEMI avec 64 électrodes positionnées selon le système 10 – 20. Un bonnet spécial était posé sur la tête des participants de manière à ce que l'électrode Iz se situe au niveau de la proéminence de l'os occipitale. Après installation du bonnet, chaque emplacement qui allait

accueillir une électrode était rempli avec un gel conducteur afin d'assurer le contact avec la peau. L'enregistrement s'est effectué à une fréquence de 2k Hz. Les références ont été positionnées sur la mastoïde gauche et droite (M1, M2). Les mouvements oculaires ainsi que les clignements ont été enregistrés à l'aide de trois électrodes positionnées autour des yeux des participants (à un centimètre des canthi externes de chaque œil ainsi qu'au niveau de la région infra-orbitaire droite).

### **2.6.3. Résultats**

Les résultats présentés ici sont des résultats préliminaires, l'étude ayant été interrompue puis retardée par la pandémie du SARS-COV 2. Dues au faible nombre de participants, les analyses post-hoc n'ont pas été corrigées. Seules les données comportementales ont été traitées, les données EEG et VFC sont en cours de traitement et ne seront pas présentées dans ce document.

#### **2.6.3.1. Épuisement du soi**

En se basant sur la taille d'effet de l'épuisement du soi observée dans l'étude précédente, une analyse de sensibilité réalisée avec G\*Power nous indique qu'avec un échantillon de 25 participants, nous avons 28% de chance d'observer l'effet entre la session contrôle et la session 30 minutes de Stroop. Si le temps passé sur la tâche est un facteur primordial pour observer l'effet, alors les chances d'observer l'effet entre la session contrôle et la session 10 ou 20 minutes de Stroop devrait être inférieur à 28%.

Nous avons réalisé une ANOVA avec la session (contrôle vs 10 minutes de Stroop vs 20 minutes de Stroop vs 30 minutes de Stroop) comme variable intra-participants sur le temps de maintien dans la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement (Figure 23). L'analyse ne permet pas de mettre en évidence une différence entre les sessions  $F(3, 72) = 0.20, p = .899$ . Nous avons réalisé un contraste linéaire des sessions 10 minutes, 20 minutes et 30 minutes de Stroop sur le temps de maintien à la tâche d'endurance de serrage. L'analyse n'est pas significative,  $t(48) = 0.90, p = .374, \beta = -0.186$ .

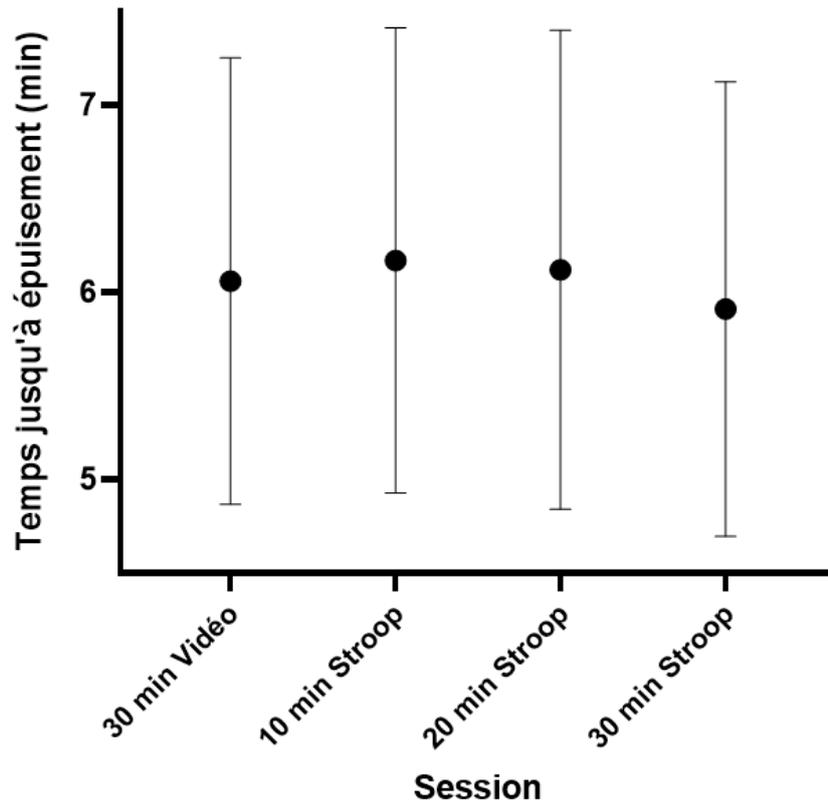


Figure 23. Temps de maintien de la poignée de serrage manuel jusqu'à épuisement en fonction de la session. Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance 95%.

### 2.6.3.2. Variables contrôles (difficultés, CM, CP)

L'ensemble des moyennes et écart-types des analyses suivantes est présenté dans le Tableau 5.

#### Difficulté de la tâche mentale

Nous avons réalisé une ANOVA avec la session (Contrôle vs 10 vs 20 vs 30 minutes) comme variable intra-sujets sur la difficulté de la tâche mentale. L'effet de la session est significatif :  $F(3, 72) = 27.7, p < .001$ . Les analyses post-hoc ont révélé que la tâche Vidéo est perçue comme moins difficile que les trois autres tâches (tous les  $p < .001$ ). Le Stroop de 10 minutes était aussi perçu comme moins difficile que le Stroop de 30 minutes :  $t(24) = 2.73, p = .012$ . Enfin le Stroop de 20 minutes n'était pas différent des Stroop de 10 minutes et de 30 minutes :  $t(24) = 1.55, p = .136$  et  $t(24) = 0.70, p = .489$ , respectivement.

### Capacités mentales utilisées dans la tâche mentale

Nous avons réalisé une ANOVA avec la session (Contrôle vs 10 vs 20 vs 30 minutes) comme variable intra-sujets sur les capacités mentales auto-rapportées utilisées dans la tâche mentale. L'effet de la session est significatif :  $F(3, 72) = 25.3, p < .001$ . Les analyses post-hoc ont révélé que la tâche Vidéo est perçue comme demandant moins de capacités mentales que les trois durées de Stroop (tous les  $p < .001$ ). Les autres comparaisons n'étaient pas significatives, cependant la différence entre la tâche de 10 minutes de Stroop et la tâche de 20 minutes et celle entre la tâche de 10 minutes et celle de 30 minutes étaient marginales :  $t(24) = 1.77, p = .090$  et  $t(24) = 1.68, p = .106$ , respectivement.

### Capacités physiques utilisées dans la tâche physique

Nous avons réalisé une ANOVA avec la session (Contrôle vs 10 vs 20 vs 30 minutes) comme variable intra-sujets sur les capacités physiques auto-rapportées utilisées dans la tâche physique. L'effet de la session est significatif :  $F(3, 72) = 3.05, p = .034$ . Les analyses post-hoc ont révélé que, lors de la session Vidéo, les participants ont rapporté avoir utilisé plus de capacités physiques dans la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement que lors des sessions 20 minutes et 30 minutes de Stroop :  $t(24) = 3.47, p = .002$  et  $t(24) = 2.48, p = .021$ , respectivement. La comparaison avec la session 10 minutes était en revanche marginale :  $t(24) = 1.71, p = .100$ . Les trois comparaisons entre les sessions 10, 20 et 30 minutes n'étaient pas significativement différentes (tous les  $p > .400$ ). Ces résultats peuvent paraître étonnants. Rappelons tout de même que notre échantillon n'est pas complet et que par conséquent une erreur de type 1 est possible. De plus nous n'avons pas corrigé les tests post-hoc. En appliquant la correction de Bonferroni, alors la différence entre la session Vidéo et la session 30 minutes de Stroop n'est plus significative. Seule la différence entre la session Vidéo et la session 20 minutes le reste.

### Capacités mentales utilisées dans la tâche physique

Nous avons réalisé une ANOVA avec la session (Contrôle vs 10 vs 20 vs 30 minutes) comme variable intra-sujets sur les capacités mentales auto-rapportées utilisées dans la tâche physique. L'effet de la session est significatif :  $F(3, 72) = 3.68, p = .016$ . Les analyses post-hoc ont révélé que plus de capacités mentales ont été engagées par les participants lors de la

session Vidéo que dans les trois autres sessions (tous les  $p < .029$ ). En revanche les trois sessions Stroop ne se distinguent pas entre elles (tous les  $p > .600$ ). De la même manière que pour les capacités physiques utilisées dans la tâche physique, les résultats ici peuvent être dus à une erreur de type 1. En appliquant la correction de Bonferroni, seule la différence entre la session Vidéo et la session 30 minutes de Stroop reste significative.

| <i>Session</i>                   | <i>Moyenne Contrôle<br/>(ET)</i> | <i>Moyenne 10<br/>minutes (ET)</i> | <i>Moyenne 20<br/>minutes (ET)</i> | <i>Moyenne 30<br/>minutes (ET)</i> |
|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| <i>Difficulté TM</i>             | 24.8 (21.6)                      | 55.3 (23.9)                        | 63.4 (18.3)                        | 66.3 (16.5)                        |
| <i>Capacités<br/>Mentales TM</i> | 51.4 (23.3)                      | 72.4 (21.2)                        | 79.4 (16.1)                        | 79.3 (17.7)                        |
| <i>Capacités<br/>Physique TP</i> | 81.1 (15.6)                      | 76.6 (20.3)                        | 74.2 (21.4)                        | 75.0 (20.1)                        |
| <i>Capacités<br/>Mentales TP</i> | 71.5 (21.1)                      | 61.3 (28.2)                        | 59.5 (29.4)                        | 61.4 (26.3)                        |

Tableau 5. Moyenne et écart type des différentes variables en fonction de la session.

### 2.6.3.3. Fatigue

Nous avons réalisé une ANOVA avec la session (Vidéo vs 10 vs 20 vs 30 minutes) et le moment (avant la tâche mentale vs après la tâche mentale vs après la tâche physique) comme variable intra-sujets sur la fatigue ressentie. Ni l'effet d'interaction ni l'effet de la session ne se sont avérés significatifs :  $F(6, 144) = 0.61, p = .722$  et  $F(3, 72) = 0.92, p = .438$ , respectivement. En revanche, l'effet du moment était significatif :  $F(2, 48) = 17.98, p < .001$ . Les participants étaient moins fatigués avant la tâche mentale ( $M = 21.4$ ) qu'après la tâche mentale ( $M = 35.5$ ) ou qu'après la tâche physique ( $M = 36.5$ ) :  $t(24) = 5.63, p < .001$  et  $t(24) = 4.46, p < .001$ , respectivement (Figure 24). En revanche, les participants n'étaient pas plus fatigués après la tâche physique qu'avant :  $t(24) = 0.42, p = .680$ .

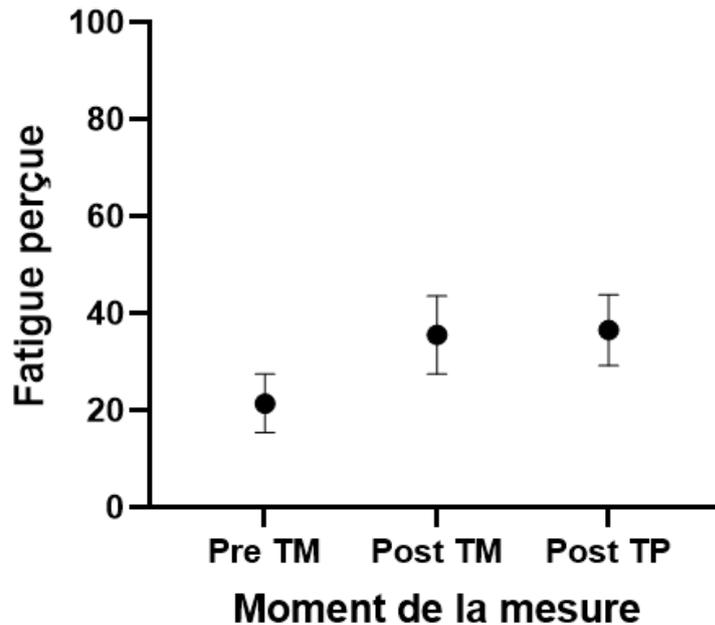


Figure 24. Effet principal de la fatigue perçue en fonction du moment de la mesure. Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance 95%.

#### 2.6.3.4. Motivation

##### Motivation à faire la tâche mentale

Nous avons réalisé une ANOVA avec la session (Vidéo vs 10 vs 20 vs 30 minutes) et le moment (avant la tâche mentale vs après la tâche mentale vs après la tâche physique) comme variable intra-sujets sur la motivation à réaliser la tâche mentale. L'interaction s'est avérée significative :  $F(6, 144) = 4.38, p < .001$  (Figure 25). Les tests post-hoc nous ont indiqué que les participants étaient plus motivés au début de la session à faire la tâche Vidéo que la tâche de Stroop, indépendamment de la durée (tous les  $p < .003$ ). En revanche les trois durées de tâche de Stroop ne se distinguaient pas (tous les  $p > .660$ ). Après la tâche mentale, toutes les sessions se distinguaient, plus la tâche de Stroop durait longtemps, et moins les participants étaient motivés à la refaire (tous les  $p < .045$ ). Enfin, après la tâche physique, la motivation à refaire la tâche mentale n'était pas différente entre les sessions (tous les  $p > .090$ ). Pour l'ensemble des sessions, la tâche mentale induisait une baisse de motivation à la refaire après comparativement à avant. En revanche, en ce qui concerne la différence entre après la tâche mentale et après la tâche physique, lors de la session Vidéo la motivation continuait à diminuer

alors que pour la session 30 minutes la motivation remontait :  $t(24) = 2.33, p = .028$  et  $t(24) = 2.10, p = .046$ .

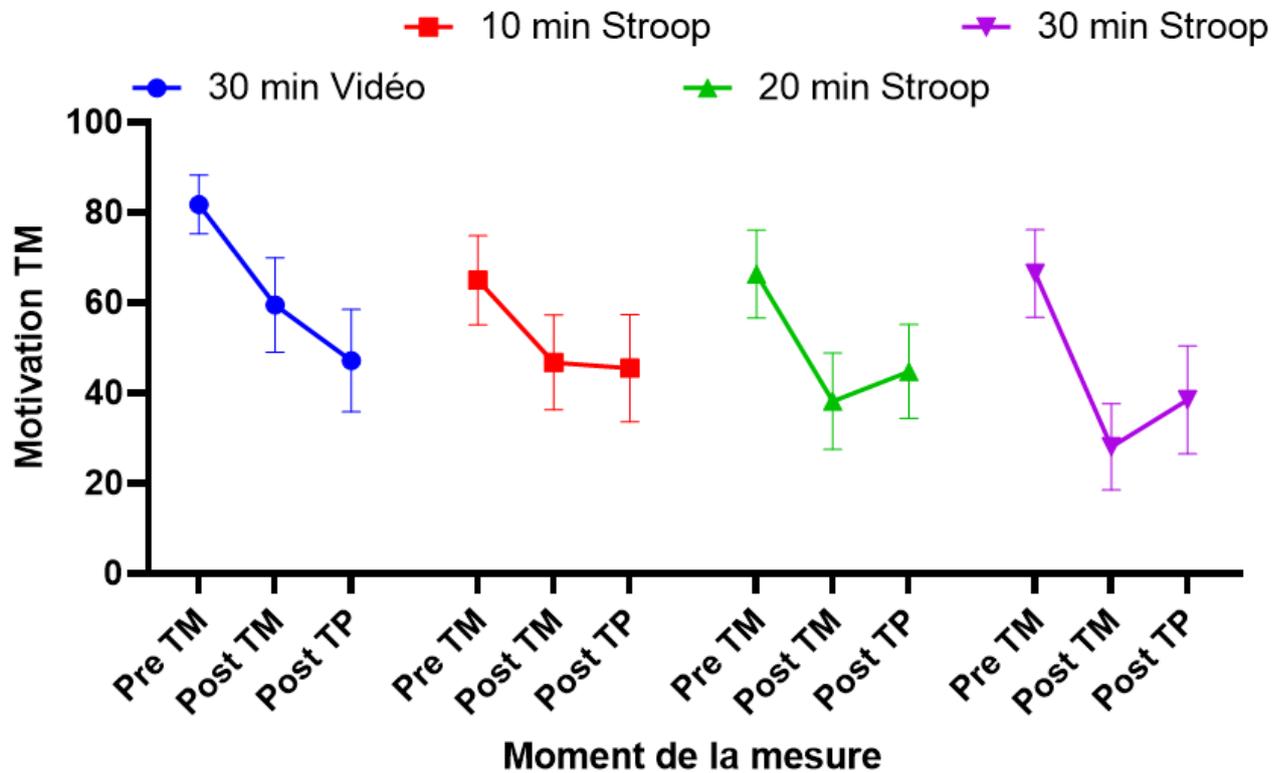


Figure 25. Motivation à réaliser la tâche mentale en fonction du moment de la mesure et de la session. Pre TM = avant la tâche mentale, Post TM = après la tâche mentale, Post TP = après la tâche de serrage manuelle jusqu'à épuisement. Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance 95%.

#### Motivation à faire la tâche physique

Nous avons réalisé une ANOVA avec la session (Vidéo vs 10 vs 20 vs 30 minutes) et le moment (avant la tâche physique vs après la tâche physique) comme variable intra-sujets sur la motivation à réaliser la tâche physique. Ni l'interaction ni l'effet de la session ne sont avérés significatifs :  $F(3, 72) = 1.32, p = .274$  et  $F(3, 72) = 1.95, p = .129$ , respectivement. En revanche, nous avons observé que les participants étaient moins motivés à refaire la tâche physique après l'avoir réalisée ( $M = 36.3$ ) comparativement à avant ( $M = 70.3$ ) :  $F(1, 24) = 69.71, p < .001$ .

### Motivation à faire une tâche plus agréable

Nous avons réalisé une ANOVA avec la session (Vidéo vs 10 vs 20 vs 30 minutes) et le moment (avant la tâche physique vs après la tâche physique) comme variable intra-sujets sur la motivation à réaliser une tâche plus agréable. Ni l'interaction ni l'effet du moment ne sont avérés significatifs :  $F(3, 72) = 0.96, p = .417$  et  $F(1, 24) = 0.14, p = .711$ , respectivement. En revanche, nous avons observé un effet de la session :  $F(3, 72) = 2.87, p = .042$  (Figure 26). Les résultats post-hoc ont indiqué, que la session Vidéo ( $M = 61.3$ ) ne se différencie pas significativement de la session 10 minutes ( $M = 62.8$ ), et que la session 20 minutes ( $M = 77.0$ ) ne se différencie pas significativement de la session 30 minutes ( $M = 71.9$ ),  $t(24) = 0.30, p = .768$  et  $t(24) = 0.72, p = .481$ . En revanche, la session Vidéo se distinguait marginalement des deux autres sessions (i.e., 20 et 30 minutes) :  $t(24) = 1.92, p = .067$  et  $t(24) = 1.81, p = .083$ , respectivement. Enfin, la session 10 minutes se distinguait aussi des deux autres sessions 20 minutes et 30 minutes :  $t(24) = 2.12, p = .045$  ; et  $t(24) = 2.86, p = .009$ , respectivement.

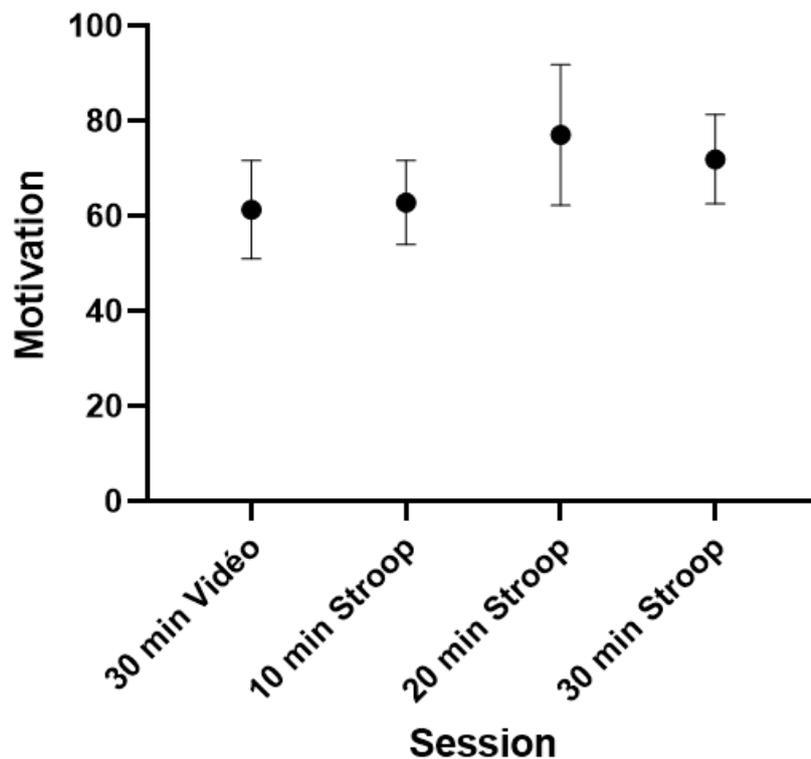


Figure 26. Effet principal de la motivation à faire une tâche plus agréable en fonction de la session. Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance 95%.

### 2.6.3.5. Ennui

Nous avons réalisé une ANOVA avec la session (Contrôle vs 10 vs 20 vs 30 minutes) comme variable intra-sujets sur l'ennui ressenti dans la tâche mentale, (Figure 27). L'analyse n'a pas montré d'effet session :  $F(3, 72) = 0.92, p = .437$ .

Nous avons réalisé des corrélations entre l'ennui ressenti dans la tâche mentale et la fatigue juste après celle-ci. Pour les sessions Vidéo, 10 et 20 minutes, les corrélations ne sont pas avérées significatives,  $r = .305, p = .138, r = .288, p = .162$ , et  $r = .287, p = .164$ . La corrélation était significative seulement pour la session de 30 minutes de Stroop :  $r = .459, p = .021$ .

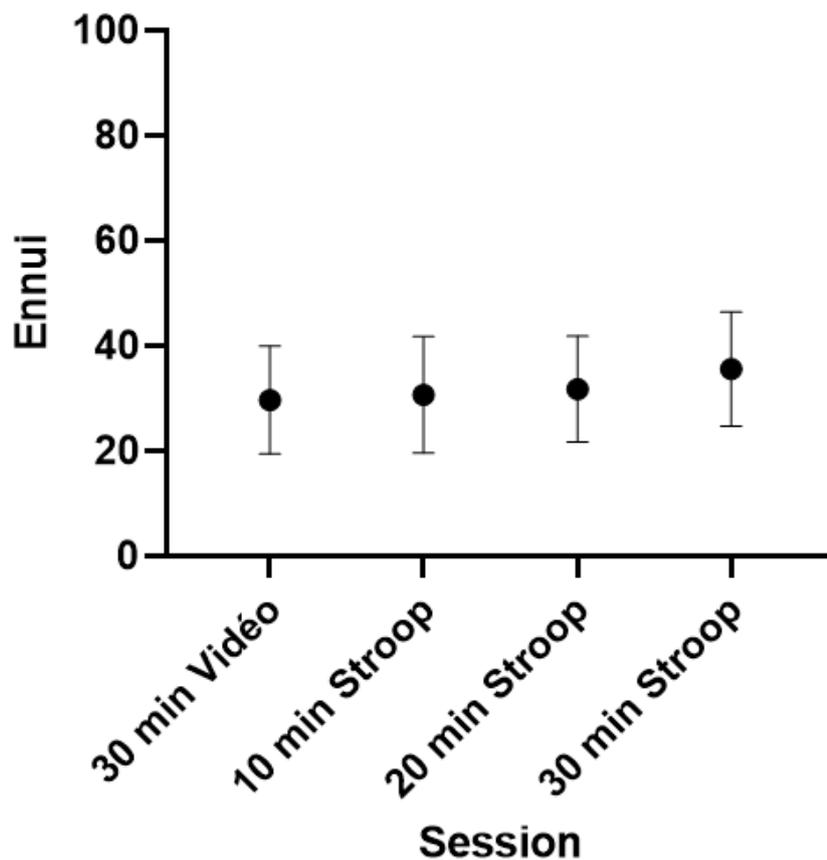


Figure 27. Ennui ressenti dans la tâche mentale en fonction de la session. Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance 95%.

### 2.6.3.6. Le trait d'autocontrôle

Le score moyen au trait d'autocontrôle était de 45.8 (ET = 8.9). Lorsque nous avons ajouté le trait d'autocontrôle à l'ANOVA sur l'effet d'épuisement du soi, l'effet de la session est resté non significatif :  $F(3, 69) = 0.95, p = .423$ . Ni l'effet d'interaction entre la session et le trait d'autocontrôle ni l'effet principal du trait d'autocontrôle ne sont avérés significatifs :  $F(3, 69) = 0.93, p = .430$  et  $F(1, 23) = 0.004, p = .949$ , respectivement.

Enfin, le trait d'autocontrôle n'était pas corrélé avec le temps de maintien de la poignée lors de la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement, et cela indépendamment de la session (Tableau 6).

|                    | Vidéo                 | 10 min Stroop         | 20 min Stroop        | 30 min Stroop        |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Trait Autocontrôle | $r = -.064, p = .763$ | $r = -.095, p = .650$ | $r = .089, p = .672$ | $r = .015, p = .943$ |

Tableau 6. *Corrélation entre le trait d'autocontrôle et le temps de maintien lors de la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement.*

### 2.6.4. Discussion

Dans cette quatrième étude, nous n'avons pas pu mettre en évidence l'effet d'épuisement du soi, ni sa modération en fonction du temps passé sur la tâche. Cependant, et même si elle n'est pas significative, l'analyse linéaire va dans le bon sens avec une réduction du temps de maintien de 0.19 minute pour chaque tranche de 10 minutes rajoutée sur la tâche lorsque la tâche de Stroop est réalisée. Cette absence d'effet peut venir d'un manque de puissance puisque nous avons seulement 28% de chance de détecter l'effet avec cette taille d'échantillon. Cependant, la baisse de performance observée entre la session Vidéo et la session de 30 minutes de Stroop n'est que de 2.5%, ce qui est inférieur à la baisse de performance observée lors de l'étude 3 qui était d'environ 8%. Cette différence peut venir d'un échantillonnage différent avec un groupe un peu plus âgé dans cette 4<sup>ème</sup> étude, mais surtout plus hétérogène avec des participants allant de 18 à 51 ans et un écart-type de 8.2 ans, ce qui est plus que lors de l'étude 3 (ET = 2.2 ans). Cependant, cette explication ne semble pas être satisfaisante puisque des études ont relevé que l'avancée en âge ne semblait pas avoir d'impact sur l'effet d'épuisement du soi (Fischer et al., 2012; Xu et al., 2012). De plus, la prévalence de la fatigue augmentant

avec l'avancée en âge (Zengarini et al., 2015), ça serait l'effet inverse qui serait attendu, c'est-à-dire un effet d'épuisement du soi plus important avec un groupe plus âgé.

Il est aussi possible que la place de la session Vidéo, qui sert de session contrôle, soit en cause. En effet, celle-ci prend toujours place lors de la deuxième session et n'est pas randomisée comme les trois sessions avec la tâche de Stroop. Cela peut donner lieu à un effet d'apprentissage, même très faible, entre la session Vidéo et la session suivante (qui sera l'une des trois sessions de Stroop). Cet effet d'apprentissage aura tendance à diminuer l'apparition de l'effet d'épuisement du soi. Nous avons créé ce plan expérimental en nous basant sur l'étude 3, car nous n'avons pas observé de différence entre la session Ligne de base (qui était toujours en 2<sup>ème</sup> session) et la session Vidéo (qui était randomisée à la 3<sup>ème</sup> ou 4<sup>ème</sup> session). Nous en avons conclu qu'une fois la session entraînement réalisée, l'ordre de passage n'était pas primordial. Cependant, il est possible qu'il y ait toujours la présence d'un effet d'ordre, que nous n'avons pas pu détecter lors de l'étude 3 mais qui apparaîtrait dans cette nouvelle étude. Enfin, et de manière assez étonnante, les participants rapportent avoir engagé plus de capacités mentales et physiques dans la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement après avoir réalisé la tâche Vidéo comparativement aux autres sessions. Lors de l'étude précédente, nous n'avons pas observé de différence dans l'utilisation des capacités physiques et une différence marginale - allant dans le sens inverse - des capacités mentales. Il est possible que l'installation du matériel expérimentale (EEG + ECG), qui est donc posé la première fois lors de la session Vidéo, affecte négativement la performance des participants. En effet, même si lors de la session d'entraînement (i.e., la première session) il est expliqué aux participants le matériel qui leur sera installé et ce qui sera mesuré, ce n'est que lors de la session Vidéo (i.e., la deuxième session) que le matériel est réellement installé. Ainsi, l'attention supplémentaire portée tout au long de cette première installation pourrait induire un déclin de la performance dans la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement. En effet, les variables contrôles nous indiquent que ce n'est pas la tâche Vidéo qui induit un effet puisque celle-ci est bien vue comme sollicitant moins les capacités mentales et étant moins difficile que la tâche Stroop (indépendamment de la durée).

Jusqu'à 20 minutes la difficulté perçue et les capacités mentales rapportées augmentent, mais au-dessus de 20 minutes ces scores se stabilisent. Ainsi, d'un point de vue des mesures auto-rapportées, il ne semblerait pas nécessaire d'aller au-delà de 20 minutes de Stroop. Par ailleurs, nous retrouvons cet effet palier dans la motivation à réaliser une tâche plus agréable. Cette motivation est plus faible lorsque la tâche mentale est 30 minutes de Vidéo ou 10 minutes

de Stroop, alors qu'elle est plus élevée lorsque la tâche mentale est de 20 ou 30 minutes de Stroop.

A l'inverse, dans la motivation à réaliser la tâche mentale, plus le Stroop dure longtemps et moins les participants sont motivés à réaliser de nouveau cette tâche après coup. En revanche, après la tâche physique, la motivation à réaliser la tâche mentale, indépendamment de la session devient similaire avec un score d'environ 45 / 100. Cet effet ressemble à une régression vers la moyenne. En effet, après 30 minutes de Stroop, les participants ont une motivation à refaire la tâche proche de 0 et elle ne peut donc qu'augmenter, alors qu'après la tâche Vidéo, elle reste encore assez haute, et donc aura plus de facilité à réduire par la suite, après une autre tâche, d'autant plus que l'expérience dure longtemps et que de l'agacement ou de la lassitude peut apparaître. Cependant, une seconde hypothèse n'est pas à exclure. Les résultats indiquent que plus la tâche d'épuisement est longue et plus les participants ont une augmentation à refaire la tâche d'épuisement après la tâche dépendante. Cet effet peut être dû à un changement de tâche ce qui, lorsque la tâche est longue et compliquée, augmenterait la motivation.

En ce qui concerne la motivation à réaliser la tâche physique, et de manière similaire à l'étude 3, nous n'avons pas observé de différence en fonction de la tâche mentale qui a été réalisée au préalable. Les participants rapportaient la même motivation à réaliser cette tâche quelle que soit la tâche mentale qui précédait la tâche physique. Une fois de plus, cela va à l'encontre du modèle de processus d'épuisement du soi (Inzlicht & Schmeichel, 2012) qui prédit que suite à la réalisation d'une tâche sollicitant l'autocontrôle les individus devraient être moins motivés à réaliser une autre tâche sollicitant aussi l'autocontrôle.

A l'inverse de l'étude 3, nous n'observons pas de différence entre les sessions dans la fatigue et l'ennui rapportés par les participants. Ici encore, il est possible que cette absence d'effet provienne à la fois d'un manque de puissance et d'un échantillon hétérogène. Cependant, avec la taille d'effet observée dans l'étude trois sur l'ennui, nous avons 99.8% de chance de détecter une différence entre la session Vidéo et la session 30 minutes avec un échantillon de 25 participants. Toutefois, la différence que nous avons observée dans l'étude 4 est marginale indiquant que soit nous avons surestimé la différence dans l'étude précédente, soit notre échantillon n'est pas suffisamment proche de l'échantillon de l'étude 3, soit un autre phénomène a réduit l'ennui dans la tâche de Stroop comparativement à l'étude précédente. Les participants de cette 4<sup>ème</sup> étude n'étant pas tous étudiants, ils étaient potentiellement plus intéressés par la tâche et la découverte de celle-ci, la voyant par conséquent comme moins

ennuyeuse. Enfin, le trait d'autocontrôle n'est pas corrélé au temps de maintien dans la tâche d'endurance de serrage manuel contrairement à ce qui a pu être observé dans les études 1 et 3.

## DISCUSSION GÉNÉRALE

*« Que l'ennui est cruel, cruellement ennuyeux, je ne sais pas de terme ni plus fort ni plus vrai ; car seul le semblable se reconnaît au semblable. S'il y avait un mot plus noble et plus expressif, il y aurait du moins encore un mouvement à faire. Mais je reste étendu, inactif ; la seule chose que je vois, c'est le vide, la seule dont je vis, c'est le vide ; le seul milieu où je me meurs, c'est le vide. Je ne ressens même pas les souffrances. [...] Même la douleur a perdu pour moi sa vertu apaisante. Si l'on m'offrait toutes les splendeurs ou tous les tourments du monde, comme ces choses me sont également indifférentes, je ne me tournerais pas de l'autre côté, ni pour les atteindre, ni pour les fuir. Je meurs de mort. [...] »* Kierkegaard, *Ou bien... ou bien...*, 1843, I, "Diapsalmata", Robert Laffont, p. 43-44, Gallimard, p. 32.

### 3.1. Réplication de l'effet d'épuisement du soi

L'objectif principal de cette thèse était de répliquer l'effet d'épuisement du soi en contrôlant plusieurs paramètres afin d'obtenir des conditions optimales de réplication. Le premier paramètre que nous avons pris en compte était la durée de la tâche d'épuisement. Nous avons sélectionné une durée de 30 minutes, ce qui est à la fois plus que les temps utilisés dans les recherches en psychologie sociale s'intéressant à l'épuisement du soi (i.e., environ 5 minutes) et plus court que certaines recherches en psychologie cognitive ou de psychologie de l'exercice et s'intéressant aux effets de la fatigue cognitive sur la performance (i.e., supérieures à 30 minutes). Le second paramètre était la difficulté de la tâche d'épuisement. Nous avons pour cela choisi une tâche de Stroop modifiée qui sollicite fortement deux fonctions exécutives (i.e., l'inhibition contrôlée et la flexibilité cognitive) avec une réponse orale pour que la difficulté d'inhibition soit plus élevée (MacLeod, 1991). Le troisième paramètre était le plan expérimental. Selon la méta-analyse de Brown et al. (2020), nous avons plus de chance de détecter l'effet avec un protocole inter-participants. Nous avons aussi pris soin de contrôler plusieurs variables qui pouvaient influencer l'apparition de l'effet tel que l'ennui, les capacités mentales engagées dans la tâche, ou encore la fatigue en début de session.

Malgré cet ensemble de précautions, nous n'avons pas réussi à répliquer l'effet d'épuisement du soi lors de la première étude. La tâche de Stroop incongruente requiert bien d'engager plus de capacités mentales que la tâche contrôle (i.e., tâche de lecture de Stroop congruente). Nous avons choisi cette dernière afin que la seule différence entre la tâche expérimentale et la tâche contrôle soit l'engagement de l'inhibition contrôlée et de la flexibilité cognitive, deux fonctions exécutives sollicitées par la tâche Stroop incongruente mais absentes dans la tâche de lecture de mots de couleur (i.e., Stroop congruente). Ainsi, les participants devaient se retrouver dans des conditions très proches avec cette seule différence. La condition contrôle devait donc être peu coûteuse cognitivement, ne demandant que peu d'attention et ne sollicitant pas les fonctions exécutives. Cependant cette tâche de lecture de Stroop congruente semble induire un ennui très important (67/100) ainsi qu'une augmentation de la fatigue, ces deux variables étant significativement corrélées.

Il est à noter que d'autres études ont réussi à répliquer l'effet d'épuisement du soi en utilisant la même tâche expérimentale et surtout la même tâche contrôle que celle que nous avons utilisée dans la première étude (MacMahon et al., 2019; Pageaux et al., 2014). Cependant, ces deux études n'ont utilisé que peu de participants (12 et 13 participants), les rendant plus

sensibles aux biais d'échantillonnages, ainsi qu'en ayant une estimation de la taille d'effet moins fiable. De plus, une différence majeure avec notre étude concerne l'effecteur utilisé pour produire la réponse. Alors que dans notre étude les participants devaient répondre oralement afin de maximiser la sollicitation de l'inhibition contrôlée dans la condition d'épuisement, dans ces deux études les participants devaient répondre en appuyant sur des boutons de réponses associés aléatoirement à une couleur. La réponse orale ayant un niveau d'automatisation qui serait plus élevé, les participants peuvent s'ennuyer rapidement dans la condition de lecture de mots de couleur car la tâche devient rapidement monotone. A l'inverse, lorsque les participants doivent répondre en appuyant sur des boutons, la réponse n'est pas automatisée depuis des années, mais apprise dans le but de réaliser l'étude. Ainsi cette modalité de réponse demande une attention plus élevée et par conséquent se trouve être possiblement moins ennuyeuse.

Notre deuxième étude nous a permis de confirmer ce que l'on avait observé dans la première quant à la tâche de lecture de Stroop congruente. Celle-ci est en effet évaluée une nouvelle fois comme très ennuyeuse par les participants, avec un score similaire à celui de la première étude (72/100). A l'inverse, la deuxième tâche que nous avons testée (i.e., la tâche vidéo de visionnage d'un documentaire) n'a induit que très peu d'ennui (16/100). Cette seconde tâche a eu aussi l'avantage de ne pas modifier l'état émotionnel ou de fatigue des participants. Elle remplissait donc toutes les conditions pour être une bonne tâche contrôle. De plus, le documentaire que nous avons choisi avait déjà été utilisé comme tâche contrôle (Pageaux et al., 2013) dans des études s'intéressant à la fatigue cognitive. D'autres documentaires ont été utilisés dans des études similaires (Badin et al., 2016; Brown & Bray, 2019; Head et al., 2017).

En utilisant ce documentaire comme nouvelle tâche contrôle, nous avons pu répliquer l'effet d'épuisement du soi dans une troisième étude. Dans cette étude nous avons pu mettre en évidence que la présence d'une tâche mentale neutre (i.e., le visionnage d'un documentaire) ou l'absence de tâche mentale donnaient des résultats similaires sur la tâche dépendante. Seule la tâche mentale d'épuisement réduisait les performances dans la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement. Avec ces résultats comportementaux pris isolément, il n'est pas exclu de dire que nous avons à faire à un faux positif (une fluctuation statistique). Seulement, en prenant notre taille d'échantillon en compte (plus importante que dans les études ayant une tâche d'épuisement de même durée) et l'ensemble de nos résultats secondaires, cette probabilité est très fortement réduite. En effet, les mesures de nos variables contrôles nous indiquent que la tâche de Stroop incongruente a bien été perçue comme plus difficile que la tâche de visionnage d'un documentaire. Nous avons aussi observé que la fatigue était plus importante après la tâche

de Stroop incongruente qu'après la tâche de visionnage d'un documentaire. Mais ce n'est pas tout, l'effort perçu dans la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement était plus important après la réalisation de la tâche de Stroop incongruente qu'après la réalisation de la tâche contrôle (session contrôle) ou que le participant n'ait pas réalisé de tâche (session ligne de base). De plus, les données concernant l'effort perçu par les participants au cours de ces deux dernières sessions ne se distinguaient pas. L'ensemble de ces données confirme qu'un phénomène est bien à l'œuvre lors de la tâche de Stroop incongruente et que ce phénomène n'est pas induit par la tâche de visionnage d'un documentaire. Cela est aussi appuyé par les données observées au cours de la tâche de Stroop incongruente avec un score d'efficacité inverse (score qui prend en compte le temps de réaction et le taux d'erreurs) qui se détériore au cours de la tâche. Ainsi, l'ensemble des données converge vers la même conclusion, ce qui réduit extrêmement la probabilité que nous soyons face à un faux positif. Cela aide donc à trancher sur le débat qui fait encore rage dans la littérature sur l'épuisement du soi. De plus, nos résultats sur l'épuisement du soi sont cohérents avec ceux observés dans des études ayant un protocole très similaire (i.e., tâche d'épuisement longue et tâche dépendante physique) (Brown & Bray, 2019; Head et al., 2017; Marcora et al., 2009; Pageaux et al., 2013; Penna et al., 2018; Smith et al., 2015). Ces études ont observé l'effet à travers différentes tâches d'endurance telles que du cyclisme, de la contraction isométrique ou encore de la natation.

A l'inverse, et en accord avec le modèle de la force de l'autocontrôle (Baumeister et al., 1998, 2007, 2018), la contraction maximale volontaire ne semble pas impactée par ce phénomène. Pour réaliser ce genre de tâche les participants n'ont pas besoin d'exercer d'autocontrôle puisque l'objectif est de serrer le plus fort possible dans un très court laps de temps. Il n'y a donc pas de contrôle à exercer pour réprimer une réponse dominante. Cette absence de différence sur la contraction maximale volontaire entre la session ligne de base, la session contrôle et la session expérimentale a été observée auparavant sur les muscles de la jambe (Pageaux et al., 2013).

Enfin dans la quatrième étude, malgré le contrôle expérimental similaire à l'étude trois, nous n'avons pas réussi à répliquer l'effet d'épuisement du soi, ni à mettre en évidence l'effet du temps passé sur la tâche d'épuisement et cela malgré des variables contrôles indiquant la tâche vidéo comme étant plus simple et requérant moins de capacités mentales que les sessions avec du Stroop (indépendamment de la durée). Les mesures de fatigue ne permettent pas non plus de faire de distinction entre les différentes sessions. Cependant pour cette étude nous manquions de puissance. Cette étude n'étant pas terminée, nous ne pouvons rien conclure en ce

qui concerne l'effet du temps passé sur la tâche d'épuisement sur la variabilité de la fréquence cardiaque, la densité des ondes thêta préfrontales et la performance lors de la tâche dépendante.

### **3.2. L'ennui, une variable d'importance**

Le sociologue Martin Doehleemann nous indique qu'il existe 4 types d'ennui : l'ennui de situation (lorsque l'on attend quelque chose qui n'arrive pas ou que l'on participe à une tâche longue et peu intéressante), l'ennui de satiété (lorsque l'on a eu trop de répétition du même stimulus), l'ennui existentiel (lorsque 'l'âme' est sans satisfaction et que le monde est neutre et sans saveur), et enfin l'ennui de créativité (lorsque l'on a besoin de faire quelque chose de nouveau) (Svendsen, 2005). Selon le philosophe Lars Svendsen, ces quatre types d'ennui se recoupent légèrement, mais permettent tout de même une distinction entre eux (Svendsen, 2005). Il précise que l'ennui vient de l'absence de sens. Cette précision est appuyée par le modèle des composantes de sens et d'attention de l'ennui (Westgate & Wilson, 2018). Selon ce modèle, l'ennui est vécu lorsque les individus ne se sentent pas capables ou ne veulent pas s'engager cognitivement dans la tâche qu'ils sont en train de faire. Si la tâche que les individus sont en train de faire n'a pas de sens ou d'intérêt pour eux, alors ils ressentiront de l'ennui.

Lors des différents travaux présentés dans ce document, nous avons pu mettre en évidence que l'ennui ressenti dans la tâche, et tout particulièrement dans la tâche contrôle, était un facteur primordial à contrôler afin de répliquer l'effet d'épuisement du soi. En effet, la tâche de lecture de mots de couleur que nous avons utilisée dans la première étude induisait un ennui important. Dès lors que la tâche contrôle n'induisait plus d'ennui (i.e., étude 3), nous avons été en mesure de répliquer l'effet d'épuisement du soi.

On peut dès lors se demander si l'ennui présent dans la tâche de Stroop incongruente ne contribue pas lui aussi à l'effet de baisse de performance dans la tâche dépendante. Dans l'analyse de variance sur l'effet d'épuisement du soi de l'étude trois, lorsque nous avons contrôlé l'ennui, l'effet d'épuisement du soi disparaissait. Cela nous indique que l'ennui est un facteur qui influence l'apparition et probablement la taille de l'effet d'épuisement du soi. Des résultats similaires ont été montrés récemment (Bieleke et al., 2021). D'un côté, l'ennui prédit la performance dans la tâche dépendante, et de l'autre côté un ennui plus élevé est associé à une baisse de l'effort investi dans la tâche d'épuisement (ou la tâche contrôle), plus de fatigue et de frustration. Ces résultats sont par ailleurs en accord avec les travaux de Wolff et Martarelli

(2020) nous indiquant que l'ennui est associé à une augmentation du coût en effort dans la tâche en cours si l'on souhaite garder la performance constante (sinon l'effort décroît). En effet, l'ennui est « un état aversif de vouloir mais ne pas être capable de s'engager dans une activité satisfaisante » (Eastwood et al., 2012). Par conséquent, l'ennui généré par la tâche en cours va demander aux participants de résister à l'envie ou la tentation d'arrêter la tâche qu'ils sont en train de réaliser. Ainsi, l'effet d'épuisement du soi peut venir de la sollicitation des fonctions exécutives dans la tâche d'épuisement que l'on ne retrouve pas dans la tâche contrôle, mais aussi de l'ennui plus important dans la tâche d'épuisement. Ces deux facteurs sollicitent l'autocontrôle, et plus précisément l'inhibition contrôlée. Dans l'étude 3, l'ennui dans la tâche d'épuisement est relativement élevé (53/100) ce qui semble signifier que les participants ont dû engager leur ressource d'autocontrôle afin de continuer la tâche malgré cette variable ayant un effet négatif sur notre mesure. A l'inverse, dans l'étude 4, pour laquelle nous ne répliquons pas l'effet d'épuisement du soi, les participants n'ont pas évalué la tâche de Stroop incongruente comme aussi ennuyeuse (36/100). Ainsi, les participants dans cette 4<sup>ème</sup> étude n'ont probablement pas engagé autant d'autocontrôle que les participants de l'étude 3 afin de réaliser la tâche d'épuisement, même s'ils rapportent avoir utilisé autant de capacités mentales dans les deux études (i.e., 79.8/100 dans l'étude 3 et 79.4/100 dans l'étude 4). Ceci peut expliquer pourquoi nous n'avons pas répliqué l'effet d'épuisement du soi, ou tout du moins, pourquoi la baisse de performance observée dans la tâche dépendante, même si elle était non significative due à un manque de puissance, n'était pas plus importante. Dans l'étude 4, la différence de performance dans la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement entre la session 30 minutes de vidéo et 30 minutes de Stroop était d'environ 3% alors qu'elle était d'environ 8% dans l'étude 3. Ainsi, cette différence entre les deux études peut potentiellement venir d'une différence de perception dans l'ennui ressenti dans la tâche d'épuisement qui précédait la tâche dépendante.

### *L'ennui et le modèle de coût d'opportunité*

Cette augmentation des coûts due à l'ennui ressenti (Wolff & Martarelli, 2020) est par ailleurs en accord avec le modèle des coûts d'opportunité (Kurzban et al., 2013). Selon ce modèle, chaque action possible pour un individu va donner lieu à une évaluation de l'utilité de cette action. Ainsi, la réalisation de la tâche de Stroop incongruente va être associée à un coût (e.g., 10, sur une échelle ouverte) car la personne aura une récompense à la fin de l'étude, mais aussi socialement pour faire plaisir à l'expérimentateur. De l'autre côté, le participant pourrait

aussi ne rien faire et se perdre dans ses pensées, mais l'utilité immédiate de cette action est relativement faible notamment car il y aurait la désapprobation de l'expérimentateur, donc son utilité sera évaluée par exemple à 2. Si maintenant nous rajoutons le coût de réalisation de la tâche dû à l'ennui, alors l'utilité d'arrêter la tâche de Stroop augmente en même temps que l'ennui. Cela va se traduire par une baisse de performance qui n'entraînera pas pour autant un abandon de la part du participant. En effet, Kurzban et ses collègues (2013) nous expliquent que les ressources mentales sont limitées, dynamiques et divisibles à n'importe quel moment mais ne s'épuisent pas. Ils font alors l'analogie avec un processeur d'ordinateur qui peut diviser sa puissance de calcul entre plusieurs tâches mais qui ne s'épuise pas (tant qu'il a de l'électricité pour fonctionner). Le côté dynamique détermine donc le degré d'engagement des ressources mentales dans chaque tâche à chaque instant. Ainsi plus le delta entre l'utilité de faire la tâche de Stroop et l'utilité d'arrêter (pour faire une autre action ou tâche comme se perdre dans ses pensées) se réduit, et plus les ressources seront divisées entre les deux tâches. Ainsi selon ce modèle, c'est l'augmentation du coût de la réalisation de la tâche de Stroop dû à l'ennui (et la fatigue associée) qui crée la baisse de performance, aussi bien dans la tâche de Stroop comme montré dans l'étude 3, que dans la tâche dépendante qui suit. En effet, faire deux tâches coûteuses à la suite aura une utilité plus faible que de ne faire qu'une tâche coûteuse puis de faire autre chose.

### *L'ennui et le modèle du contrôle intégratif par l'effort*

Lorsque les participants s'ennuient, ils laissent plus divaguer leurs pensées (mind-wandering ; Kane et al., 2007), ce qui se traduit par une augmentation des pensées intrusives (Seli et al., 2015). Ceci est donc en accord avec le modèle de coûts d'opportunités (Kurzban et al., 2013), puisque le vagabondage de l'esprit va diminuer l'utilité de la tâche de Stroop en augmentant son coût. De plus, le vagabondage de l'esprit (Esterman & Rothlein, 2019), ainsi que l'ennui (Danckert & Merrifield, 2018), deux concepts liés, sont associés à une plus grande activation du réseau de mode par défaut (Danckert & Merrifield, 2018; Esterman & Rothlein, 2019). Il a aussi été montré qu'une plus grande activation du réseau « mode par défaut » est associée à une baisse de la précision et une augmentation du temps de réponse dans une tâche cognitive : donc une baisse de performance (Bonnelle et al., 2011). Cela expliquerait donc pourquoi l'ennui est lié à l'épuisement du soi. En effet, ce réseau « mode par défaut » est censé être désactivé lors de la réalisation d'une tâche demandant un effort cognitif (Mazoyer et al.,

2001; McKiernan et al., 2003). Le réseau de la saillance, qui distribue la priorité entre le réseau du mode par défaut et le réseau central exécutif, doit désactiver le réseau du mode par défaut pour donner la priorité au réseau du contrôle exécutif lors de la réalisation de tâche demandant de l'effort (André et al., 2019). Il est donc tout à fait possible que l'ennui et donc le manque de sens dans la tâche puissent créer un affaiblissement de la connectivité entre le réseau de la saillance et le réseau du contrôle exécutif et demander un coût en effort supplémentaire si la performance doit être maintenue. Cet effort supplémentaire, requis pour réaliser la tâche d'épuisement et ne pas laisser ses pensées vagabonder, affaiblira plus rapidement la connectivité entre les mini-colonnes corticales (unité de traitement de l'information) comme proposé par le modèle intégratif du contrôle par l'effort (André et al., 2019).

Par ailleurs, il existe une corrélation négative entre le trait de tendance à l'ennui et les ondes thêta (Yakobi et al., 2021). Selon le modèle intégratif du contrôle par l'effort, les ondes thêta sont générées par le réseau de la saillance afin que le réseau du contrôle exécutif puisse investir de l'effort dans la tâche. Ainsi, d'après les résultats de l'étude de Yakobi et al. (2021), les participants qui vont s'ennuyer facilement présenteront moins d'ondes thêta que les participants qui n'ont pas tendance à s'ennuyer facilement. Les auteurs ont aussi pu mettre en évidence que l'état d'ennui est associé à une baisse de l'attention dans la tâche de go/no-go (Yakobi et al., 2021). Selon le modèle des composantes d'attention et de sens de l'ennui (Westgate & Wilson, 2018), l'attention est l'une des composantes de l'ennui. Ainsi l'ennui serait un indicateur de l'attention que l'individu investit dans la tâche en cours. Nous retrouvons ce lien ennui-attention avec la variation de la difficulté de la tâche. Si une tâche est trop simple, alors les participants ne vont pas engager d'attention pour la réaliser. De la même manière si la tâche est trop difficile, alors les participants vont avoir un désengagement attentionnel. L'ennui est en revanche minimum lorsque la tâche se situe dans le juste milieu de la difficulté, c'est-à-dire ni trop simple, ni trop difficile (Westgate & Wilson, 2018).

Dans nos études 3 et 4, nous avons des populations différentes. Dans l'étude 3, il s'agissait principalement d'étudiants donc assez jeunes (environ 20 ans) et un écart-type réduit (2.23 ans), alors que dans l'étude 4 la population était plus hétérogène avec une moyenne d'âge un peu plus élevée (environ 24 ans), mais surtout un écart type plus large (8.22 ans). Ces derniers ont donc probablement moins l'habitude des tâches de type Stroop. Ils auraient alors été plus attentifs lors de la tâche de Stroop que ceux de l'étude 3. Enfin, l'avancée en âge semble réduire la propension à avoir un score élevé au trait de tendance à l'ennui et cela même chez les

populations jeunes de 15 à 30 ans (Isacescu et al., 2017). Ces deux raisons pourraient expliquer pourquoi l'ennui est plus faible dans la dernière étude (par rapport à l'étude 3).

### *L'ennui et le modèle de schéma de fatigue*

Nous avons aussi mis en évidence une corrélation entre l'ennui et la fatigue ressentie après la tâche d'épuisement dans les études 1, 3 et 4 (uniquement lors des 30 minutes de Stroop dans cette dernière). La direction de la relation entre l'ennui et la fatigue n'est pas déterminée par notre étude, mais il semble plus probable que l'ennui induise la fatigue plutôt que l'inverse. Ces résultats sur la fatigue sont par ailleurs en accord avec le modèle de schéma de l'autocontrôle (Bertrams, 2020). Selon celui-ci, (Figure 28A) à la suite d'une tâche qui sollicite l'autocontrôle, nous allons (Figure 28B) de manière consciente ou préconsciente, voir ou ressentir des changements comportementaux et physiologiques. Ces changements sont modérés par la perception de facilité ou d'effort de la tâche, mais aussi par l'apport ou l'utilisation d'énergie via la perception intéroceptive. La prise en compte de ce changement d'état du système (Figure 28C) va activer différents schémas dont le schéma de fatigue (ou réduire le schéma de vitalité), mais dans le même temps il peut y avoir une activation d'autres schémas (e.g., schéma de persistance). Une fois le schéma de fatigue activé, (Figure 28D) cela va motiver l'individu à conserver son énergie, (Figure 28E) ce qui va réduire l'effort investi et par conséquent la performance dans les tâches subséquentes demandant de l'autocontrôle. Cette réduction de l'effort peut être modérée par des coûts externes ou encore par une motivation extrinsèque. L'auteur nous précise que le schéma de fatigue peut être activé par des facteurs intéro ou extéroceptifs et c'est l'activation d'un schéma qui va rendre plus accessibles les comportements associés, c'est-à-dire se comporter comme si l'on était vraiment fatigué.

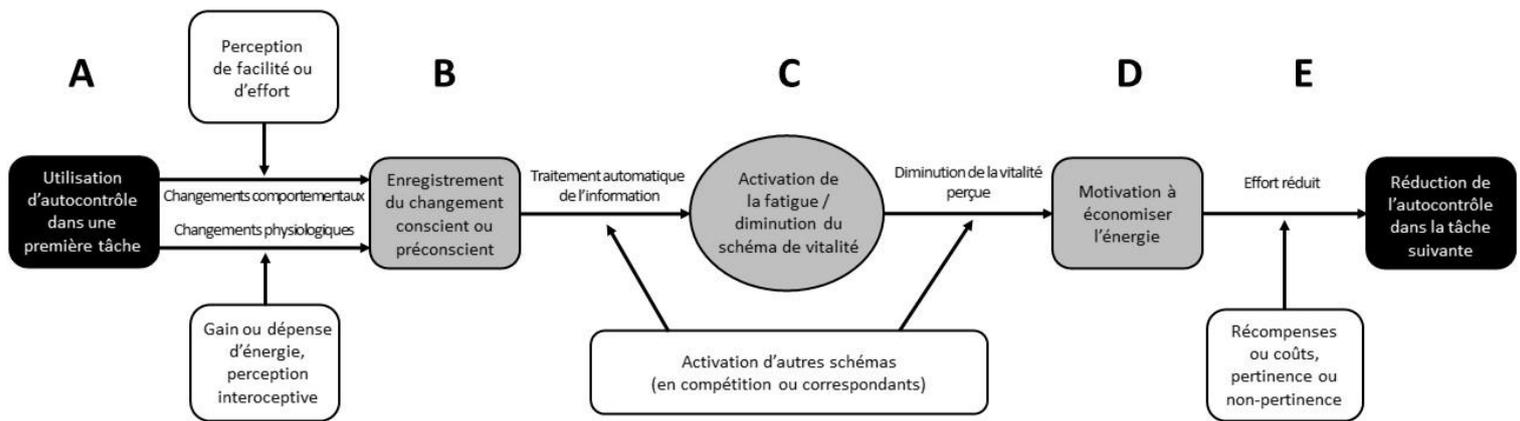


Figure 28. Reprise du modèle de schéma de fatigue, inspiré et traduit à partir de Bertrams (2020).

Ce modèle de schéma de fatigue est par ailleurs intéressant puisqu'il permet d'expliquer l'effet d'épuisement du soi vicariant, ainsi que la récupération vicariante, mais aussi l'épuisement du soi imaginé (Ackerman et al., 2009; Egan et al., 2012; Graham et al., 2014). La série d'expériences de Job, Bernecker, et al. (2015) va notamment dans le sens de ce modèle. Dans cet article, les auteurs montrent qu'à la suite d'une tâche mentale sollicitant l'autocontrôle, les participants vont avoir une plus grande accessibilité des concepts de repos, mais que cela va aussi se traduire de manière comportementale. Ainsi les participants identifieront plus rapidement des mots de repos que lorsqu'ils ont fait une tâche d'épuisement de l'autocontrôle comparativement à une tâche contrôle.

De fait, par rapport à nos résultats, lorsque le participant va ressentir de l'ennui dans la tâche, cela va activer son schéma de fatigue. Il va alors rapporter une fatigue supérieure, mais aussi se comporter comme s'il était réellement fatigué et donc tenir moins longtemps la poignée de serrage manuel lors de la tâche de contraction isométrique des muscles de l'avant-bras. De plus, dans la 4<sup>ème</sup> étude, peu d'ennui a été rapporté par les participants dans la tâche de Stroop, et la différence entre la tâche de 30 minutes de Stroop et 30 minutes de vidéo n'était que très faible et non significative. Cela se traduit par ailleurs par une absence d'interaction dans la fatigue ressentie lors des différentes sessions.

### Conclusion sur l'ennui

Comme nous avons pu le montrer dans ce document à travers les différentes études, l'ennui est l'une des composantes principales du phénomène d'épuisement du soi. Il semble donc absolument nécessaire de s'assurer que la tâche contrôle que nous utilisons n'induit pas d'ennui. Ce contrôle n'étant que rarement fait, il est probable qu'une partie des échecs de répliques dans le champ de l'épuisement du soi soit imputable à l'ennui ressenti dans la tâche qui est censée servir de contrôle (e.g., Etherton et al., 2018; Lurquin et al., 2016; Osgood, 2017; Xu et al., 2014). Cela s'est particulièrement révélé dernièrement avec deux études importantes regroupant plusieurs laboratoires ( $k = 23$  et  $36$ ) avec des milliers de participants ( $N = 2141$  et  $3531$ ), pour lesquelles la tâche contrôle était très proche de la tâche expérimentale (tâche de barrage de « E » et tâche d'écriture) mais n'ayant aucune mesure de l'ennui ressenti par les participants (Hagger et al., 2016; Vohs et al., 2021). C'est par ailleurs ce que proposent les travaux de Wolff et Martarelli (2020) indiquant que l'ennui et l'autocontrôle sont liés. Si la tâche est trop simple et/ou qu'elle manque de sens alors cela va créer un ennui important, et si la tâche est complexe, elle va solliciter de l'autocontrôle. Dans les deux cas, cela va se traduire par un évitement de l'effort à réaliser la tâche ou la tâche suivante qui demanderait aussi de solliciter l'autocontrôle. Enfin, cette association semble être aussi vraie pour le trait d'autocontrôle et le trait de tendance à l'ennui puisque les deux seraient fortement corrélés négativement ( $r \approx -.6$ ; Struck et al., 2016). Le trait de tendance à l'ennui serait associé à des conséquences négatives telles que des symptômes de dépression et d'anxiété plus élevés (Lee & Zelman, 2019) mais aussi à des comportements plus à risques comme les jeux et la consommation de substances psychotropes (Lench, 2018). Nous retrouvons les mêmes conséquences négatives lorsque le trait d'autocontrôle est faible (Moffitt et al., 2011; Tangney et al., 2004).

L'ennui serait par conséquent un facteur important du comportement humain qui permet de déterminer à quel moment l'on doit agir (faire la tâche en cours) et à quel moment on doit se désengager pour aller explorer d'autres sources de stimulation (Danckert, 2019). Ainsi, l'ennui est un signal d'alerte qui informe le système que les ressources mentales ne sont pas correctement allouées et pourraient servir à une activité plus intéressante ou pertinente (Kurzban et al., 2013). Il semble donc absolument nécessaire de s'assurer que la tâche contrôle n'induit pas d'ennui au risque de ne pas pouvoir répliquer l'épuisement du soi.

### 3.3. La motivation

Le modèle de processus d'épuisement du soi (Inzlicht & Schmeichel, 2012), propose que l'effet d'épuisement du soi viendrait d'un changement dans la motivation, l'attention et l'émotion des individus. Ce changement se ferait du « je dois » (réaliser la tâche en cours) vers le « je veux » (réaliser une tâche plus agréable). Après une première tâche sollicitant l'autocontrôle, les individus devraient donc être moins motivés à la refaire, mais aussi moins motivés à faire n'importe quelle autre tâche qui sollicite l'autocontrôle. A l'inverse, la motivation à réaliser une tâche plus agréable devrait augmenter après chaque nouvelle tâche sollicitant l'autocontrôle.

#### La motivation à réaliser la tâche mentale

Lors de la première étude, nous n'avons pas mis en évidence de différence dans la motivation à réaliser la tâche mentale entre les deux groupes, que ce soit avant la tâche mentale, après celle-ci, ou encore après la tâche dépendante. Cependant dans cette étude, la tâche contrôle n'était pas adaptée et semblait donc induire un épuisement du soi de la même manière que la tâche expérimentale. Toutefois, nous observions une baisse de motivation à refaire la tâche mentale après l'avoir réalisée comparativement à sa réalisation précédente. Cette baisse de motivation est en accord avec les prédictions du modèle de processus d'épuisement du soi. Cependant, après la tâche dépendante, la motivation à refaire la tâche mentale n'a pas continué à baisser. Or, selon les prédictions du modèle d'Inzlicht et Schmeichel (2012) cela aurait dû se produire.

Dans la troisième étude, nous retrouvons le même patron de résultat envers la tâche expérimentale, c'est-à-dire une baisse de la motivation à la refaire après l'avoir faite, mais pas de nouvelle baisse après la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement. Encore une fois, cela n'est pas totalement en accord avec les prédictions du modèle de processus d'épuisement du soi. Cependant, dans cette troisième étude, après avoir réalisé la tâche de Stroop, la baisse de motivation était très importante, l'amenant à un seuil bas d'environ 20/100. Nous sommes donc potentiellement ici face à un effet plancher.

Enfin, dans la dernière étude, nous observons une baisse de motivation à refaire la tâche de Stroop après l'avoir faite qui est inversement proportionnelle au temps passé sur la tâche. Cela est parfaitement en accord avec le modèle de processus d'épuisement du soi, puisque plus

la tâche mentale est compliquée/sollicitante/longue, plus la baisse de motivation est importante. De la même manière que dans l'étude 3, nous observons un effet de seuil après la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement.

Ces résultats sur la motivation à réaliser la tâche mentale ne supportent donc que partiellement le modèle de processus d'épuisement du soi (Inzlicht et al., 2014; Inzlicht & Schmeichel, 2012). En effet, le changement de tâche peut faire remonter la motivation, mais aussi réduire l'ennui ressenti par le participant.

### *La motivation à réaliser la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement*

Le modèle de processus d'épuisement du soi (Inzlicht et al., 2014; Inzlicht & Schmeichel, 2012) fait la prédiction qu'à la suite d'une tâche sollicitant l'autocontrôle il devrait y avoir une réduction de la motivation à faire une autre tâche sollicitant l'autocontrôle. Donc, selon ce modèle, après avoir réalisé la tâche d'épuisement, les participants devraient être moins motivés pour réaliser la tâche dépendante (i.e., la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement). Cependant, lors des études 1, 3 et 4, nous n'observons pas de différence de motivation à réaliser la tâche dépendante que les participants aient réalisé la tâche de Stroop ou la tâche contrôle au préalable. Dans l'étude 3 et 4 nous n'observons pas non plus d'interaction dans la motivation à réaliser la tâche dépendante entre le moment (avant et après la tâche dépendante) et la session. En revanche, dans la première étude, les participants ayant fait la tâche de Stroop incongruente sont moins motivés à refaire la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement après l'avoir faite que les participants dans la condition contrôle (i.e., lecture de Stroop congruent). Il est assez étonnant d'observer ce résultat puisque dans cette étude la condition contrôle semblait induire un épuisement similaire à celui de la condition d'épuisement. Bien que cette différence puisse s'expliquer par un artéfact statistique, la différence de protocole expérimental entre la 1<sup>ère</sup> étude (inter-sujets) et les études 3 et 4 (intra-sujets) semble être une explication plus pertinente. Lors de l'étude 3 et 4 les participants passent toutes les conditions et ont donc fait une première évaluation de leur motivation à réaliser de nouveau la tâche physique après l'avoir réalisée et après avoir réalisé une tâche mentale. Cette première évaluation peut donner lieu à un auto-ancrage associatif (Gawronski et al., 2007), ce qui servirait de référence lors des évaluations des sessions suivantes. A l'inverse, dans le cas de la première étude, l'auto-ancrage associatif n'a pas pu avoir lieu puisque cette évaluation n'est produite qu'une seule fois, ce qui révélerait une réelle différence entre les deux groupes. Il est donc possible que la tâche de Stroop

incongruente ait conduit à un épuisement du soi plus important qui ressort lors de l'évaluation de la motivation à refaire la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement.

### *La motivation à réaliser une tâche plus agréable*

Enfin, le modèle de processus d'épuisement du soi fait la prédiction que la motivation à faire une tâche plus agréable augmentera après avoir réalisé une première tâche qui sollicite l'autocontrôle. Nous n'observons pas ce résultat dans l'étude 1 et 3. En effet, que ce soit après la tâche de Stroop ou après une tâche contrôle, les participants ne sont pas plus motivés à faire une tâche plus agréable. Il est à noter que le score est très élevé (environ 80/100) dans les deux études pour les participants. Dans ces deux premières études, ce sont surtout des étudiants qui participent. Ils peuvent donc se sentir « obligés » de réaliser l'étude et le font en échange de point bonus ou de crédit de cours. Ainsi, leur envie de faire une autre activité, de ne pas être dans l'expérience est relativement haute. En revanche, dans l'étude 4 nous observons une différence. Les participants sont plus motivés à faire une tâche plus agréable après avoir fait 20 ou 30 minutes de Stroop, comparativement à après 30 minutes de vidéo ou 10 minutes de Stroop. Dans cette étude, une partie des participants est composée d'étudiants, mais une autre partie a été recrutée en dehors de l'université. Ils étaient donc probablement présents sans avoir de sentiment d'obligation, ce qui réduit leur envie de faire une autre activité au début de l'étude.

Enfin, le modèle de processus d'épuisement du soi fait aussi une prédiction sur l'émotion associée à la tâche. Dans l'étude 2, nous avons mesuré la valence émotionnelle ainsi que l'éveil. Nous avons mis en évidence que les participants étaient plus tristes après la tâche de lecture de Stroop congruente (qui s'est avérée être épuisante du fait de l'ennui qu'elle induit) alors que ce n'était pas le cas pour la tâche vidéo, ce qui est en accord avec les prédictions du modèle de processus d'épuisement du soi. En revanche, aucun effet n'apparaît sur le niveau d'éveil des participants.

Les données sur la motivation et l'émotion de nos études ne confirment que partiellement le modèle de processus d'épuisement du soi (Inzlicht et al., 2014; Inzlicht & Schmeichel, 2012). En effet, nous observons bien une baisse de motivation à faire la tâche mentale après l'avoir réalisée, mais ce n'est pas le cas pour la tâche dépendante. De la même manière sur l'émotion, la valence émotionnelle correspond bien aux prédictions, mais ce n'est pas le cas pour l'éveil.

### **3.4. La durée de la tâche**

Hormis dans la dernière étude, nous n'avons pas manipulé la durée de la tâche d'épuisement. Malheureusement cette dernière n'est pas terminée, ne nous permettant pas de conclure sur les résultats obtenus. Nous avons néanmoins pu mettre en évidence deux points principaux. Premièrement, avec une tâche plus longue (i.e., 30 minutes) que celles classiquement utilisées dans la littérature sur l'épuisement du soi nous avons pu répliquer l'effet, avec une taille d'effet proche de celles observées dans la littérature. Deuxièmement, lors de l'étude 3, nous avons aussi mis en évidence qu'avec le temps passé sur la tâche, la performance se dégradait dans celle-ci. Le score d'efficacité inverse des participants augmentait (i.e., le temps de réponse qui intègre les erreurs est plus élevé), et cela est notamment marqué entre la première partie de la tâche d'épuisement, et les suivantes.

### **3.5. Apport théorique et implications pratiques**

#### *Apport théorique*

Cette thèse a permis de contribuer au débat sur l'existence du phénomène d'épuisement du soi. Au vu de nos résultats, la longueur et la difficulté de la tâche sont des facteurs nécessaires, mais pas suffisants pour mettre en évidence l'effet d'épuisement du soi. Il faut également que la tâche contrôle soit suffisamment neutre émotionnellement, peu sollicitante en autocontrôle et peu ennuyeuse. Nous avons ainsi mis en évidence qu'il est primordial de contrôler l'ennui dans la tâche contrôle afin de pouvoir répliquer l'effet, mais aussi que l'ennui dans la tâche d'épuisement peut être l'un des facteurs explicatifs induisant l'épuisement du soi. De plus, ce travail montre que la motivation à réaliser la tâche mentale était un facteur à prendre en compte, et notamment que lorsqu'il est entré comme covariable dans l'effet d'épuisement du soi, alors ce dernier ne devient plus significatif. Cela indique que la motivation explique une part de la variance de l'effet. En revanche, nos résultats sur la motivation à réaliser la tâche dépendante ne sont pas en accord avec les prédictions du modèle de processus d'épuisement du soi, fragilisant ainsi ce dernier. A l'inverse, l'ensemble de nos résultats est en accord avec les prédictions du modèle de la force de l'autocontrôle, à l'exception de la croyance en l'autocontrôle. En effet, dans la mise à jour de 2018 (Baumeister et al., 2018), les auteurs intègrent les théories implicites dans leur modèle. Cependant nos résultats n'ont pas pu mettre

en évidence un quelconque effet de la croyance en l'épuisement des ressources en autocontrôle sur la performance dans la tâche dépendante en fonction de la tâche d'épuisement.

De plus, nos résultats ne permettent pas de dire si la baisse de performance observée dans la tâche dépendante est due uniquement à un affaiblissement des ressources. En effet, il est possible que cet affaiblissement des ressources entraîne d'autres effets tels qu'une baisse de motivation ou une augmentation de la fatigue venant diminuer la performance. Mais cette diminution peut également être imputable à différents facteurs qui interviendraient simultanément ou de manière incrémentielle avec le temps passé sur la tâche. Si cette dernière proposition est vraie, alors la taille de l'effet sera fonction du nombre de facteurs qui interviennent en même temps et donc fonction des caractéristiques de la tâche d'épuisement. Ainsi, l'effet d'épuisement du soi sera plus important si la tâche d'épuisement est fortement sollicitante en autocontrôle et ennuyeuse, et si cela s'accompagne d'une baisse de la motivation à faire la tâche dépendante, d'une augmentation de la fatigue cognitive et d'une augmentation des émotions négatives. Ces différents changements peuvent apparaître avec des temps de tâche d'épuisement différents. Par exemple, sur une tâche de 30 minutes de Stroop, il est possible que le changement de motivation apparaisse au bout de 5 minutes de temps passé sur la tâche, le changement émotionnel à partir de 10 minutes et la fatigue mentale à partir de 20 minutes. La taille de l'effet peut aussi varier en fonction de la tâche dépendante utilisée. Certaines vont être plus sensibles que d'autres au phénomène d'épuisement du soi, comme par exemple avec des exercices d'isolation musculaire ou du corps entier (Giboin & Wolff, 2019).

### Implication pratique

L'implication pratique principale de ce travail de thèse semble s'appliquer à l'activité physique, puisque notre tâche dépendante en était une. Nous avons pu montrer que la perception de l'effort dans une tâche physique était augmentée à la suite d'une tâche mentale d'épuisement, de telle manière que l'épuisement du soi provoquait une baisse de performance de l'ordre de 8% dans une tâche physique de serrage manuel jusqu'à épuisement. Il semble donc nécessaire de protéger les athlètes de toutes tâches fatigantes cognitivement qu'ils pourraient rencontrer avant une compétition (e.g., prendre des décisions, remplir des formulaires complexes, etc.). En revanche la douleur, de son côté ne semble pas être supérieure dans la condition d'épuisement du soi. Ces résultats vont à l'encontre de la littérature (Schmeichel & Vohs, 2009; Silvestrini & Rainville, 2013) et sont à nuancer. Il est possible que nous manquions de puissance pour mettre

en évidence un effet d'augmentation de la perception de la douleur qui serait présent mais faible. On peut se dire que si la taille d'effet est vraiment petite, alors il n'est pas forcément pertinent de s'y intéresser. Cependant, même une faible taille d'effet peut faire une différence sur une activité où les participants ont des résultats qui se jouent à la milliseconde. Une douleur ressentie très légèrement plus forte que celle ressentie par le concurrent pourra faire perdre les précieux instants qui séparent la première place du podium de la deuxième. De plus, dans notre cas nous étions sur une douleur produite au cours de la tâche par le muscle lui-même, alors que les résultats de Schmeichel et Vohs (2009) ainsi que de Silvestrini et Rainville (2013) portent sur une douleur induite (par le froid et électrique respectivement). Il est donc possible que la perception de la douleur soit bien augmentée, à condition que ce soit une douleur induite par une cause externe. Si tel est le cas, alors cela aura des implications pour tous les sports de combat, en donnant une raison de plus de protéger les athlètes d'un épuisement du soi avant d'entrer sur le ring.

Il semble aussi nécessaire de les protéger d'activités qui pourraient les ennuyer avant la compétition puisque l'ennui semble participer au phénomène de baisse de performance. Afin de préparer au mieux les athlètes, il semble donc nécessaire de les faire participer à des activités mais que celles-ci ne soient pas ennuyantes pour eux et non coûteuses cognitivement. En extrapolant nos résultats à toutes tâches qui sollicitent l'autocontrôle, on se rend compte que ceux-ci ont un impact plus large, sur l'ensemble de la population. L'épuisement du soi augmente la fatigue et réduit la motivation à refaire une tâche déjà réalisée.

### **3.6. Limites des études**

Nous avons pu identifier plusieurs limites à nos études. La première est le changement de plan expérimental entre la première étude et les études suivantes. Nous avons choisi un protocole inter-sujets dans la première étude dans les mêmes conditions que ce qu'il se fait classiquement dans la littérature, puisque c'est ce type de protocole qui est le plus utilisé. Cependant, nous avons décidé de changer par la suite afin de pouvoir augmenter la puissance statistique avec moins de participants et cela notamment grâce à la corrélation entre les mesures répétées (May & Hittner, 2012) et à la réduction de l'erreur de la variance (Francis et al., 2018). Cela permettait aussi de contrôler les différences inter-individuelles en termes de trait de personnalité ou du fonctionnement exécutif. Avec le protocole intra-sujets, nous n'avons plus la nécessité de nous assurer que les groupes sont équilibrés sur tous les points. En revanche, ce

protocole possède aussi ses cotés négatifs. Il est notamment possible qu'en passant dans toutes les conditions, les participants comprennent les hypothèses ou en tout cas pensent les comprendre et essayent de s'y conformer de manière volontaire ou non. De plus, ce type de protocole, en répétant les mesures, peut créer un auto-ancrage (Gawronski et al., 2007), ce qui faussera les mesures auto-rapportées des participants. Enfin, une récente méta-analyse indique que le protocole inter-sujets permet d'observer une taille d'effet plus importante (Brown et al., 2020). Nous avons donc potentiellement réduit la taille de l'effet que nous avons observé, même si nous avons augmenté la puissance permettant de l'obtenir.

Une seconde limite concerne l'exclusion importante des participants dans la première étude. Nous avons en effet exclu 23% des participants, notamment pour des événements stressants vécus par les participants et pour lesquels nous n'avons pas pu placer une nouvelle session, mais aussi pour un non-respect des consignes lors de la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement. Lors de cette première étude, l'expérimentateur avait un retour visuel non pas sur la zone précise dans laquelle le participant devait rester, mais sur le tracé du logiciel AcqKnowledge, ce qui était moins précis. Ainsi, l'expérimentateur pouvait voir lorsque le participant baissait trop sa contraction isométrique, mais ne voyait pas la limite précise des 12% de la CMV sous laquelle le participant ne devait pas descendre. Les participants qui n'ont pas respecté la consigne et qui passaient un temps trop long sous la ligne étaient donc retirés a posteriori. Afin de corriger ce dernier biais, dans les études suivantes, l'expérimentateur avait un retour visuel direct de l'écran du participant avec la zone dans laquelle il devait rester, ce qui permettait de dire au participant de remonter systématiquement dès qu'il passait sous les 12% de la CMV.

La troisième limite concerne la tâche contrôle. Nous n'avons pas réussi à obtenir une tâche contrôle parfaite. La première que nous avons utilisée induisait de l'ennui, et la seconde (dans les études 3 et 4), était très différente de la tâche expérimentale. Cette seconde tâche contrôle diffère de la tâche expérimentale sur l'engagement des participants, sur la quantité de stimuli présents ainsi que sur les modalités sensorielles. Dans la tâche de Stroop les participants sont actifs constamment et ne voient que les 4 mêmes mots pendant 30 minutes. A l'inverse dans la tâche contrôle, les participants sont passifs. Afin d'essayer de minimiser cet effet et de vérifier qu'ils regardaient bien le documentaire, nous leur indiquions qu'ils auraient des questions à ce sujet à la fin de la vidéo. De plus, lors du visionnage du documentaire, les participants regardaient la vidéo, mais entendaient aussi les commentaires audios de la voix-off qui allait avec. La tâche contrôle idéale combinerait la similarité avec la tâche d'épuisement

afin que la seule différence soit la sollicitation de l'autocontrôle, mais sans induire d'ennui ou de changement d'état émotionnel.

La quatrième limite concerne la valence émotionnelle et l'éveil. Nous avons mesuré ces deux variables uniquement lors de la deuxième étude et par conséquent uniquement pour les tâches contrôles. Il aurait été intéressant de mesurer ces variables pour la tâche de Stroop incongruente lors des différentes études afin de s'assurer que la baisse de performance ne soit pas due à un changement émotionnel. Cependant, si l'ennui joue bien un rôle important dans l'épuisement du contrôle de soi, alors il devrait provoquer un changement émotionnel puisque l'ennui correspond à « une expérience émotionnelle négative » (Eastwood et al., 2012, p.488).

La cinquième limite concerne l'absence de contrebalancement dans l'étude 4 pour la session contrôle (i.e., 30 minutes de vidéo). Lors de cette étude composée de 5 sessions, les participants réalisaient toujours en premier la session d'entraînement, puis en deuxième la session contrôle. En revanche, les trois autres sessions concernant la variation du temps sur la tâche de Stroop étaient contrebalancées. Nous avons choisi ce protocole car lors de l'étude 3 nous avons mis en évidence une absence de différence (appuyée par les statistiques bayésiennes) entre la session de ligne de base et la session contrôle alors que cette dernière était contrebalancée avec la session expérimentale. En revanche, la session ligne de base n'était pas contrebalancée. Le contrebalancement de la session ne semblait donc pas avoir d'impact sur la performance, tout du moins pour la session contrôle. C'est pour cette raison que nous avons décidé de conserver la session contrôle en 2<sup>ème</sup> session dans la 4<sup>ème</sup> étude. Cette absence de contrebalancement dans l'étude 4 pourrait donc créer un auto-ancrage associatif (Gawronski et al., 2007) sur l'évaluation des mesures auto-rapportées. Lors de cette session, les participants vont associer la tâche réalisée avec leur réponse sur l'échelle visuelle analogique. Lors des sessions suivantes, leurs réponses pourraient donc avoir tendance à être influencées par cet ancrage.

La sixième limite que nous avons pu identifier concerne l'étude 4. Bien que nous manquions de puissance pour mettre en évidence l'effet, il semble que l'installation du matériel d'EEG et d'ECG, qui prend environ 1h, puisse induire un effet négatif sur les participants. Cela pourrait être dû au stress ressenti en voyant l'ensemble des câbles branchés, ou encore de l'ennui lors de l'installation du matériel. Cela peut avoir pour effet de masquer les potentiels effets d'épuisement du soi et rejoint la limite précédente. La session contrôle étant toujours la deuxième session, c'est la première fois que nous installons le matériel sur les participants, un

effet de stress se fera d'autant plus ressentir que lors des sessions suivantes. Il serait par conséquent intéressant de faire varier la durée de la tâche d'épuisement dans une étude sans l'EEG afin de vérifier que nous observons bien les effets d'épuisement du soi.

La dernière limite que nous avons identifiée à cet ensemble d'études concerne l'absence de test des modèles explicatifs de l'épuisement du soi. Nous nous sommes placés dans le cadre du modèle de la force de l'autocontrôle (Baumeister et al., 1998, 2007, 2018) afin de réaliser ces études, cependant nous n'avons pas mis en place de test expérimental de ce modèle (e.g., test des ressources). Nous avons partiellement testé le modèle de processus d'épuisement du soi (Inzlicht et al., 2014; Inzlicht & Schmeichel, 2012), uniquement sur la motivation, mais pas sur l'attention ni sur l'émotion. Nous n'avons pas non plus testé d'autres modèles qui cherchent à expliquer l'effet de baisse de performance comme le modèle de schéma de fatigue (Bertrams, 2020), ni le modèle de coût d'opportunité (Kurzban et al., 2013). Ainsi, nos études donnent des éléments en faveur de ces différents modèles sans pour autant permettre de régler définitivement les débats concernant leurs pertinences respectives.

## **3.7. Perspectives**

### **3.7.1. Aller plus loin**

Lors de la présentation de ces travaux nous avons mis en évidence certaines divergences avec d'autres travaux de la littérature, mais aussi des limites à nos propres études.

Plusieurs études ont par exemple réussi à répliquer l'effet d'épuisement du soi en utilisant la même tâche contrôle que nous avons utilisée dans l'étude 1 (i.e., tâche de lecture de Stroop congruent) (MacMahon et al., 2019; Pageaux et al., 2014). Dans ces études les participants devaient répondre non pas de manière orale comme lors de notre étude, mais en appuyant sur des boutons de réponse. Les participants n'avaient donc, au moins dans un premier temps, pas automatisé la réponse qui était apprise uniquement pour l'étude. A l'inverse, répondre de manière orale est une réponse apprise depuis l'enfance et qui est donc hautement automatisée. La modalité de réponse doit donc avoir un impact important sur l'effet d'épuisement du soi et sur la taille de l'effet associé. Il serait intéressant, afin de continuer à déterminer les contours de cet effet, de manipuler au sein d'une même étude ces différentes modalités de réponses.

A notre connaissance, il n'y a qu'une seule étude qui ait fait varier la difficulté de la tâche d'épuisement (Wimmer et al., 2019). Cependant, dans cette étude, les auteurs ont utilisé la tâche

de barrage de « E » afin d'induire l'épuisement du soi. Cette tâche est à l'origine de plusieurs échecs de réplication et est de plus en plus décriée (Hagger et al., 2016; Vohs et al., 2021; Wimmer et al., 2019). Barrer des « E » dans un texte ne fait en effet pas intervenir l'autocontrôle puisqu'il ne s'agit pas de dépasser une réponse dominante, à moins que l'apprentissage de barrer tous les « E » que l'on voit dans un texte soit fait intensivement auparavant. Afin de s'assurer que la difficulté de la tâche d'épuisement est bien un facteur important pour observer l'épuisement du soi, il serait nécessaire de faire varier la difficulté de celle-ci avec une tâche moins critiquée qui a permis de répliquer l'effet. Notre protocole semblant être efficace pour reproduire l'effet, il serait possible de manipuler la difficulté de la tâche d'épuisement. Pour cela, il est possible d'ajouter ou de retirer des mots cibles. Actuellement nous avons 4 mots cibles (rouge, vert, bleu et jaune) écrits avec les couleurs de ces 4 mots. Ajouter des modalités de réponse est envisageable en ajoutant soit une couleur cible, soit un mot cible, soit les deux en même temps. Ainsi, les participants auront une modalité de réponse possible supplémentaire, les obligeant à avoir des informations en mémoire en plus. Une deuxième possibilité pour faire varier la difficulté de la tâche sur le protocole exposé ici serait de faire varier la proportion de mots à lire et de couleurs à nommer. Nous étions dans une configuration avec 50% de lecture et 50% de couleurs à nommer en fonction de l'amorce présentée. En augmentant le pourcentage de couleurs à nommer, alors cela augmentera le nombre d'inhibitions de lecture sur la totalité de la tâche ce qui augmentera la difficulté. Cependant, il faut faire attention à ne pas mettre un ratio trop élevé, sinon des effets d'apprentissage pourraient apparaître et conduire à l'effet inverse. Enfin il est aussi possible, afin de réduire la difficulté, d'ajouter des essais congruents à notre protocole expérimental.

Nous avons vu que l'ennui était un facteur très important à contrôler dans le cadre de l'épuisement du soi. Certains auteurs proposent que l'ennui explique en partie la baisse de performance après la tâche d'épuisement (Bieleke et al., 2021; Wolff & Martarelli, 2020). Cependant, afin de vérifier cette hypothèse, il est nécessaire de manipuler l'ennui induit par la tâche d'épuisement. Pour ce faire, il est possible dans un premier cas de réutiliser la tâche Stroop de 30 minutes que nous avons utilisées, qui a été évaluée comme moyennement ennuyeuse (hormis dans l'étude 4) et de la comparer à une série de courtes tâches qui solliciteraient autant l'autocontrôle (e.g., une tâche de Stroop incongruente de 10 minutes, suivie d'une tâche d'Eriksen de 10 minutes, suivie d'une tâche de Simon de 10 minutes). De cette manière l'attention des participants sera renouvelée à chaque nouvelle tâche, mais l'autocontrôle sera tout autant sollicité dans les deux conditions.

### **3.7.2. Tester les modèles**

#### *Le modèle de processus d'épuisement du soi*

Afin de continuer à tester le modèle de processus d'épuisement du soi (Inzlicht et al., 2014; Inzlicht & Schmeichel, 2012), comme nous avons commencé à le faire dans cette série d'études, il est nécessaire de tester les autres prédictions qu'il propose, c'est-à-dire sur l'attention ainsi que sur l'émotion et l'éveil. Il est ainsi possible de mesurer les émotions et l'éveil lors d'une tâche d'épuisement, puis dans la tâche dépendante, et cela en comparaison avec la tâche contrôle. Cette évaluation de l'émotion peut se faire, comme nous l'avons fait dans la deuxième étude, à l'aide d'échelles auto-rapportées telle que la SAM (Bradley & Lang, 1994; Handayani et al., 2015), mais aussi avec des mesures physiologiques. Il est par exemple possible de mesurer les réactions des muscles du visage responsables des émotions (e.g., zygomatiques ou corrugateurs) afin d'avoir en temps réel l'évolution de l'émotion associée à la tâche en cours (Mauss & Robinson, 2009). L'éveil de son côté peut être mesuré avec des mesures du système nerveux autonome tel que la conductance électrodermale (Mauss & Robinson, 2009). La convergence des mesures auto-rapportées et physiologiques donnera un aperçu précis de l'émotion et l'éveil réel sous-jacent à la tâche en cours. Afin de tester l'attention dans la tâche, il est possible de suivre un protocole de double tâche avec par exemple un signal sonore rare et irrégulier auquel le participant devra répondre en même temps qu'il réalise une tâche d'épuisement ou une tâche contrôle. Cependant, l'attention a déjà été testée avec des tâches d'attention soutenue (e.g., Horloge de Mackworth ; Esterman & Rothlein, 2019; Mackworth, 1948) montrant une dégradation de l'attention avec le temps passé sur la tâche.

#### *Le modèle de schéma de fatigue*

Le modèle de schéma de fatigue (Bertrams, 2020) prédit que l'épuisement du soi serait dû à l'activation d'un schéma de fatigue, ce qui amène les participants à se comporter comme s'ils étaient fatigués. Il serait donc en théorie possible de tester ce modèle en faisant de l'amorçage subliminal avec par exemple une tâche d'AMP (Affect Misattribution Procedure ; Payne & Lundberg, 2014). Cette tâche, qui est normalement utilisée pour mesurer les attitudes implicites, consiste à présenter un mot ou une image pendant un temps subliminal (afin que ça ne soit pas perceptible par le participant), puis une autre image neutre (e.g., des hanzi chinois) qui doit être évaluée sur une échelle de positivité. Dans la tâche classique, l'évaluation de

l'image neutre reflète l'association implicite qui est faite avec l'image subliminale présentée juste avant. Cependant, elle peut être utilisée afin d'induire un ancrage subliminal de la fatigue aux participants. L'image implicite présentée sera une image ou un mot en rapport avec la fatigue. En répétant les essais, le schéma associé à la fatigue sera rendu saillant, ce qui devrait réduire la performance dans la tâche dépendante de la même manière que si le participant avait fait une tâche d'épuisement. Ce modèle est déjà appuyé par les études sur l'effet d'épuisement du soi vicariant et imaginé (Ackerman et al., 2009; Egan et al., 2012; Graham et al., 2014). Dans ces études, les participants observent ou imaginent une autre personne faire une tâche d'épuisement, puis ils réalisent réellement la tâche dépendante. Les résultats sont les mêmes que s'ils avaient eux-mêmes réalisé la tâche d'épuisement.

### **3.8. Conclusion générale**

Ces travaux de thèse apportent des éléments nouveaux qui permettent d'avancer sur le débat concernant le phénomène d'épuisement du soi. Ils permettent également de délimiter davantage les éléments nécessaires à l'apparition d'un contexte de réplication adéquat. Nous avons mis en évidence qu'en contrôlant plusieurs variables telles que l'ennui, la motivation, la fatigue, mais aussi en se plaçant dans des conditions optimales avec une tâche expérimentale suffisamment longue et difficile, il était possible de répliquer l'effet d'épuisement du soi. Nous avons aussi montré que l'ennui était un facteur important à contrôler dans la tâche de contrôle, mais aussi qu'il pouvait participer à l'effet d'épuisement du soi lorsqu'il était présent dans la tâche d'épuisement. Ces travaux permettent donc de mieux comprendre un phénomène important dans la vie courante puisqu'il impacte de nombreux domaines, aussi bien cognitifs que physiques.

Cette thèse de doctorat fut pour moi un véritable plaisir à réaliser, me permettant de rendre vivant un rêve que j'avais depuis mon enfance : devenir un scientifique. J'ai été heureux de participer à la création de connaissance, ainsi que de participer à un débat scientifique. Notre travail permettra d'avancer un peu plus dans la résolution de ce débat. J'espère pouvoir continuer encore longtemps ce rêve qui est devenu réalité.

*« L'ennui est un problème vital pour le moraliste, puisque sa crainte a causé au moins la moitié des péchés de l'humanité. » Bertrand Russell*

# BIBLIOGRAPHIE

- Ackerman, J. M., Goldstein, N. J., Shapiro, J. R., & Bargh, J. A. (2009). You wear me out: The vicarious depletion of self-control. *Psychological Science*, *20*(3), 326–332. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2009.02290.x>
- Allom, V., Panetta, G., Mullan, B., & Hagger, M. S. (2016). Self-report and behavioural approaches to the measurement of self-control: Are we assessing the same construct? *Personality and Individual Differences*, *90*, 137–142. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2015.10.051>
- André, N., Audiffren, M., & Baumeister, R. F. (2019). An Integrative Model of Effortful Control. *Frontiers in Systems Neuroscience*, *13*(December), 1–22. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2019.00079>
- Arber, M. M., Ireland, M. J., Feger, R., Marrington, J., Tehan, J., & Tehan, G. (2017). Ego depletion in real-time: An examination of the sequential-task paradigm. *Frontiers in Psychology*, *8*(SEP), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01672>
- Asch, S. E., & Guetzkow, H. (1951). Groups, leadership and men. *Effects of Group Pressure upon the Modification and Distortion of Judgments*, 177–190.
- Badin, O. O., Smith, M. R., Conte, D., & Coutts, A. J. (2016). Mental Fatigue: Impairment of Technical Performance in Small-Sided Soccer Games. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *11*(8), 1100–1105. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0710>
- Bandura, A. (1997). Self-efficacy: The exercise of control. In *Self-efficacy: The exercise of control*. W H Freeman/Times Books/ Henry Holt & Co.
- Bargh, J. A. (1994). The four horsemen of automaticity: awareness, intention, efficiency, and control in social cognition. In *Handbook of Social Cognition* (pp. 1–40).
- Baron, R. M., & Kenny, D. A. (1986). The Moderator-Mediator Variable Distinction in Social Psychological Research. Conceptual, Strategic, and Statistical Considerations. *Journal of Personality and Social Psychology*, *51*(6), 1173–1182. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.51.6.1173>
- Baumeister, R. F. (2014). Self-regulation, ego depletion, and inhibition. *Neuropsychologia*, *65*, 313–319. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.08.012>
- Baumeister, R. F., Bratslavsky, E., Muraven, M., & Tice, D. M. (1998). Ego depletion: Is the active self a limited resource? *Journal of Personality and Social Psychology*, *74*(5), 1252–

1265. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.74.5.1252>

- Baumeister, R. F., Heatherton, R. F., & Tice, D. M. (1994). *Losing control: how and why people fail at self-regulation*. CA: Academic Press.
- Baumeister, R. F., Tice, D. M., & Vohs, K. D. (2018). The Strength Model of Self-Regulation: Conclusions From the Second Decade of Willpower Research. *Perspectives on Psychological Science*, *13*(2), 141–145. <https://doi.org/10.1177/1745691617716946>
- Baumeister, R. F., & Vohs, K. D. (2007). Self-Regulation, Ego Depletion, and Motivation. *Social and Personality Psychology Compass*, *1*(1), 115–128. <https://doi.org/10.1111/j.1751-9004.2007.00001.x>
- Baumeister, R. F., Vohs, K. D., & Tice, D. M. (2007). The strength model of self-control. *Current Directions in Psychological Science*, *16*(6), 351–355. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2007.00534.x>
- Beedie, C. J., & Lane, A. M. (2012). The Role of Glucose in Self-Control: Another Look at the Evidence and an Alternative Conceptualization. *Personality and Social Psychology Review*, *16*(2), 143–153. <https://doi.org/10.1177/1088868311419817>
- Berkman, E. T., Kahn, L. E., & Livingston, J. L. (2016). Valuation as a Mechanism of Self-Control and Ego Depletion. In *Self-Regulation and Ego Control* (pp. 255–279). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801850-7.00013-5>
- Bertrams, A. (2020). A Schema-Activation Approach to Failure and Success in Self-Control. *Frontiers in Psychology*, *11*(September). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.02256>
- Beurms, S., & Miller, H. C. (2016). Sharing More Than the Sofa: What Dogs Can Teach Us About Human Self-Control. *Current Directions in Psychological Science*, *25*(5), 351–356. <https://doi.org/10.1177/0963721416664392>
- Bieleke, M., Barton, L., & Wolff, W. (2021). Trajectories of boredom in self-control demanding tasks. *Cognition and Emotion*, *35*(5), 1018–1028. <https://doi.org/10.1080/02699931.2021.1901656>
- Bishop, D. (2003). Warm Up II. *Sports Medicine*, *33*(7), 483–498. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333070-00002>
- Blain, B., Hollard, G., & Pessiglione, M. (2016). Neural mechanisms underlying the impact of

- daylong cognitive work on economic decisions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *113*(25), 6967–6972. <https://doi.org/10.1073/pnas.1520527113>
- Boat, R., Hunte, R., Welsh, E., Dunn, A., Treadwell, E., & Cooper, S. B. (2020). Manipulation of the Duration of the Initial Self-Control Task Within the Sequential-Task Paradigm: Effect on Exercise Performance. *Frontiers in Neuroscience*, *14*(October), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.571312>
- Boat, R., & Taylor, I. M. (2017). Prior self-control exertion and perceptions of pain during a physically demanding task. *Psychology of Sport and Exercise*, *33*, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2017.07.005>
- Boksem, M. A. S., & Tops, M. (2008). Mental fatigue: Costs and benefits. *Brain Research Reviews*, *59*(1), 125–139. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2008.07.001>
- Bonnelle, V., Leech, R., Kinnunen, K. M., Ham, T. E., Beckmann, C. F., de Boissezon, X., Greenwood, R. J., & Sharp, D. J. (2011). Default mode network connectivity predicts sustained attention deficits after traumatic brain injury. *Journal of Neuroscience*, *31*(38), 13442–13451. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1163-11.2011>
- Borg, E., & Kaijser, L. (2006). A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *16*(1), 57–69. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00448.x>
- Boucher, H. C., & Kofos, M. N. (2012). The idea of money counteracts ego depletion effects. *Journal of Experimental Social Psychology*, *48*(4), 804–810. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2012.02.003>
- Bradley, M., & Lang, P. J. (1994). 5-cite3060-1994-Measuring Emotion: The Self-Assessment Semantic Differential Manikin and the. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *25*(I), 49–59. [https://doi.org/10.1016/0005-7916\(94\)90063-9](https://doi.org/10.1016/0005-7916(94)90063-9)
- Bray, S. R., Martin Ginis, K. A., Hicks, A. L., & Woodgate, J. (2008). Effects of self-regulatory strength depletion on muscular performance and EMG activation. *Psychophysiology*, *45*(2), 337–343. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2007.00625.x>
- Brown, D. M. Y., & Bray, S. R. (2017). Graded increases in cognitive control exertion reveal a threshold effect on subsequent physical performance. *Sport, Exercise, and Performance*

*Psychology*, 6(4), 355–369. <https://doi.org/10.1037/spy0000091>

- Brown, D. M. Y., & Bray, S. R. (2019). Effects of Mental Fatigue on Exercise Intentions and Behavior. *Annals of Behavioral Medicine*, 53(5), 405–414. <https://doi.org/10.1093/abm/kay052>
- Brown, D. M. Y., Graham, J. D., Innes, K. I., Harris, S., Flemington, A., & Bray, S. R. (2020). Effects of Prior Cognitive Exertion on Physical Performance: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*, 50(3), 497–529. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01204-8>
- Brown, J. M., Miller, W. R., Lawendowski, L. A., Vandecreek, L., & Jackson, T. L. (1999). Innovations in clinical practice: A source book. Sarasota, FL: Professional Resource Press/Professional Resource Exchange.
- Carter, E. C., Kofler, L. M., Forster, D. E., & McCullough, M. E. (2015). A series of meta-analytic tests of the depletion effect: Self-control does not seem to rely on a limited resource. *Journal of Experimental Psychology: General*, 144(4), 796–815. <https://doi.org/10.1037/xge0000083>
- Carter, E. C., & McCullough, M. E. (2014). Publication bias and the limited strength model of self-control: has the evidence for ego depletion been overestimated? *Frontiers in Psychology*, 5(July), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00823>
- Carver, C. S., & Scheier, M. F. (2011). Self-regulation of action and affect. In K. D. Vohs & R. F. Baumeister (Eds.), *Handbook of Self-regulation* (2nd ed., pp. 3–21). The Guilford Press.
- Cavalli, E., Colé, P., Leloup, G., Poracchia-George, F., Sprenger-Charolles, L., & El Ahmadi, A. (2018). Screening for Dyslexia in French-Speaking University Students: An Evaluation of the Detection Accuracy of the Alouette Test. *Journal of Learning Disabilities*, 51(3), 268–282. <https://doi.org/10.1177/0022219417704637>
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., & Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research*, 1453(250), 87–101. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2012.02.068>
- Charness, G., Gneezy, U., & Kuhn, M. A. (2012). Experimental methods: Between-subject and within-subject design. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 81(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2011.08.009>

- Chen, A., Tang, D., & Chen, X. (2013). Training Reveals the Sources of Stroop and Flanker Interference Effects. *PLoS ONE*, 8(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076580>
- Cohen, J. D. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Routledge.
- Cohen, M., Quintner, J., & Van Rysewyk, S. (2018). Reconsidering the International Association for the study of pain definition of pain. *Pain Reports*, 3(2), 1–7. <https://doi.org/10.1097/PR9.0000000000000634>
- Costa Jr., P. T., & McCrae, R. R. (1995). Domains and Facets: Hierarchical Personality Assessment Using the Revised NEO Personality Inventory. *Journal of Personality Assessment*, 64(1), 21–50. [https://doi.org/10.1207/s15327752jpa6401\\_2](https://doi.org/10.1207/s15327752jpa6401_2)
- Curtis, J., Burkley, E., & Burkley, M. (2014). The Rhythm Is Gonna Get You: The Influence of Circadian Rhythm Synchrony on Self-Control Outcomes. *Social and Personality Psychology Compass*, 8(11), 609–625. <https://doi.org/10.1111/spc3.12136>
- Danckert, J. (2019). Boredom: Managing the Delicate Balance Between Exploration and Exploitation. In *Boredom Is in Your Mind* (pp. 37–53). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-26395-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-26395-9_3)
- Danckert, J., & Merrifield, C. (2018). Boredom, sustained attention and the default mode network. *Experimental Brain Research*, 236(9), 2507–2518. <https://doi.org/10.1007/s00221-016-4617-5>
- Dang, J. (2016). Commentary: A multilab preregistered replication of the ego-depletion effect. *Frontiers in Psychology*, 7(AUG), 1–2. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01155>
- Dang, J. (2018). An updated meta-analysis of the ego depletion effect. *Psychological Research*, 82(4), 645–651. <https://doi.org/10.1007/s00426-017-0862-x>
- Dang, J., Barker, P., Baumert, A., Bentvelzen, M., Berkman, E., Buchholz, N., Buczny, J., Chen, Z., De Cristofaro, V., de Vries, L., Dewitte, S., Giacomantonio, M., Gong, R., Homan, M., Imhoff, R., Ismail, I., Jia, L., Kubiak, T., Lange, F., ... Zinkernagel, A. (2020). A Multilab Replication of the Ego Depletion Effect. *Social Psychological and Personality Science*. <https://doi.org/10.1177/1948550619887702>
- Dang, J., Liu, Y., Liu, X., & Mao, L. (2017). The ego could be depleted, providing initial exertion is depleting: A preregistered experiment of the ego depletion effect. *Social Psychology*, 48(4), 242–245. <https://doi.org/10.1027/1864-9335/a000308>

- Davidson, D. J., Zacks, R. T., & Williams, C. C. (2003). Stroop Interference, Practice, and Aging. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *10*(2), 85–98. <https://doi.org/10.1076/anec.10.2.85.14463>
- Dehaene, S., Posner, M. I., & Tucker, D. M. (1994). Localization of a Neural System for Error Detection and Compensation. *Psychological Science*, *5*(5), 303–305. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1994.tb00630.x>
- DeWall, C. N., Baumeister, R. F., Mead, N. L., & Vohs, K. D. (2011). How Leaders Self-Regulate Their Task Performance: Evidence That Power Promotes Diligence, Depletion, and Disdain. *Journal of Personality and Social Psychology*, *100*(1), 47–65. <https://doi.org/10.1037/a0020932>
- DeWall, C. N., Baumeister, R. F., Stillman, T. F., & Gailliot, M. T. (2007). Violence restrained: Effects of self-regulation and its depletion on aggression. *Journal of Experimental Social Psychology*, *43*(1), 62–76. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2005.12.005>
- Dorris, D. C., Power, D. A., & Kenefick, E. (2012). Investigating the effects of ego depletion on physical exercise routines of athletes. *Psychology of Sport and Exercise*, *13*(2), 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2011.10.004>
- Duckworth, A. L., & Seligman, M. E. P. (2005). Self-Discipline Outdoes IQ in Predicting Academic Performance of Adolescents. *Psychological Science*, *16*(12), 939–944. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2005.01641.x>
- Duckworth, Angela Lee, & Kern, M. L. (2011). A meta-analysis of the convergent validity of self-control measures. *Journal of Research in Personality*, *45*(3), 259–268. <https://doi.org/10.1016/j.jrp.2011.02.004>
- Dulaney, C. L., & Rogers, W. A. (1994). Mechanisms Underlying Reduction in Stroop Interference With Practice for Young and Old Adults. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *20*(2), 470–484. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.20.2.470>
- Dvorak, R. D., & Simons, J. S. (2009). Moderation of resource depletion in the self-control strength model: Differing effects of two modes of self-control. *Personality and Social Psychology Bulletin*, *35*(5), 572–583. <https://doi.org/10.1177/0146167208330855>
- Eastwood, J. D., Frischen, A., Fenske, M. J., & Smilek, D. (2012). The Unengaged Mind:

- Defining Boredom in Terms of Attention. *Perspectives on Psychological Science*, 7(5), 482–495. <https://doi.org/10.1177/1745691612456044>
- Egan, P. M., Hirt, E. R., & Karpen, S. C. (2012). Taking a fresh perspective: Vicarious restoration as a means of recovering self-control. *Journal of Experimental Social Psychology*, 48(2), 457–465. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2011.10.019>
- Ekman, P., Sorenson, E. R., & Friesen, W. V. (1969). Pan-Cultural Elements in Facial Displays of Emotion. *Science*, 164(3875), 86–88. <https://doi.org/10.1126/science.164.3875.86>
- Englert, C. (2017). Ego depletion in sports: highlighting the importance of self-control strength for high-level sport performance. *Current Opinion in Psychology*, 16, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2017.02.028>
- Englert, C., & Bertrams, A. (2012). Anxiety, ego depletion, and sports performance. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 34(5), 580–599. <https://doi.org/10.1123/jsep.34.5.580>
- Englert, C., & Bertrams, A. (2014). The effect of ego depletion on sprint start reaction time. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 36(5), 506–515. <https://doi.org/10.1123/jsep.2014-0029>
- Englert, C., Bertrams, A., Furley, P., & Oudejans, R. R. D. (2015). Is ego depletion associated with increased distractibility? Results from a basketball free throw task. *Psychology of Sport and Exercise*, 18(1), 26–31. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2014.12.001>
- Ent, M. R., Baumeister, R. F., & Tice, D. M. (2015). Trait self-control and the avoidance of temptation. *Personality and Individual Differences*, 74, 12–15. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2014.09.031>
- Esterman, M., & Rothlein, D. (2019). Models of sustained attention. *Current Opinion in Psychology*, 29, 174–180. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2019.03.005>
- Etherton, J. L., Osborne, R., Stephenson, K., Grace, M., Jones, C., & De Nadai, A. S. (2018). Bayesian analysis of multimethod ego-depletion studies favours the null hypothesis. *British Journal of Social Psychology*, 57(2), 367–385. <https://doi.org/10.1111/bjso.12236>
- Evans, D. R., Boggero, I. A., & Segerstrom, S. C. (2016). The Nature of Self-Regulatory Fatigue and “Ego Depletion”: Lessons From Physical Fatigue. *Personality and Social Psychology Review*, 20(4), 291–310. <https://doi.org/10.1177/1088868315597841>

- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G\*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, *39*(2), 175–191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>
- Fischer, P., Kastenmüller, A., & Asal, K. (2012). Ego depletion increases risk-taking. *Journal of Social Psychology*, *152*(5), 623–638. <https://doi.org/10.1080/00224545.2012.683894>
- Fothergill, A., (Réalisateur) & Linfield, M., (Réalisateur). (2007). Un jour sur Terre [Documentaire].
- Francis, Z. L., & Inzlicht, M. (2016). Proximate and Ultimate Causes of Ego Depletion. In *Self-Regulation and Ego Control* (pp. 373–398). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801850-7.00018-4>
- Francis, Z., Milyavskaya, M., Lin, H., & Inzlicht, M. (2018). Development of a Within-Subject, Repeated-Measures Ego-Depletion Paradigm: Inconsistent Results and Future Recommendations. *Social Psychology*, *49*(5), 271–286. <https://doi.org/10.1027/1864-9335/a000348>
- Freeman, N., & Muraven, M. (2010). Self-Control Depletion Leads to Increased Risk Taking. *Social Psychological and Personality Science*, *1*(2), 175–181. <https://doi.org/10.1177/1948550609360421>
- Friese, M., Frankenbach, J., Job, V., & Loschelder, D. D. (2017). Does Self-Control Training Improve Self-Control? A Meta-Analysis. *Perspectives on Psychological Science*, *12*(6), 1077–1099. <https://doi.org/10.1177/1745691617697076>
- Friese, M., Messner, C., & Schaffner, Y. (2012). Mindfulness meditation counteracts self-control depletion. *Consciousness and Cognition*, *21*(2), 1016–1022. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2012.01.008>
- Friese, M., Schweizer, L., Arnoux, A., Sutter, F., & Wänke, M. (2014). Personal prayer counteracts self-control depletion. *Consciousness and Cognition*, *29*, 90–95. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2014.08.016>
- Funahashi, S., & Andreau, J. M. (2013). Prefrontal cortex and neural mechanisms of executive function. *Journal of Physiology Paris*, *107*(6), 471–482. <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2013.05.001>
- Furley, P., Bertrams, A., Englert, C., & Delphia, A. (2013). Ego depletion, attentional control,

- and decision making in sport. *Psychology of Sport and Exercise*, 14(6), 900–904. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2013.08.006>
- Gailliot, M. T., & Baumeister, R. F. (2007). Self-Regulation and Sexual Restraint: Dispositionally and Temporarily Poor Self-Regulatory Abilities Contribute to Failures at Restraining Sexual Behavior. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 33(2), 173–186. <https://doi.org/10.1177/0146167206293472>
- Gailliot, M. T., Baumeister, R. F., Dwall, C. N., Maner, J. K., Plant, E. A., Tice, D. M., Brewer, L. E., & Schmeichel, B. J. (2007). Self-control relies on glucose as a limited energy source: Willpower is more than a metaphor. *Journal of Personality and Social Psychology*, 92(2), 325–336. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.92.2.325>
- Gailliot, M. T., Schmeichel, B. J., & Baumeister, R. F. (2006). Self-regulatory processes defend against the threat of death: Effects of self-control depletion and trait self-control on thoughts and fears of dying. *Journal of Personality and Social Psychology*, 91(1), 49–62. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.91.1.49>
- Gandevia, S. C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 81(4), 1725–1789. <https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.4.1725>
- Gao, H., Zhang, Y., Wang, F., Xu, Y., Hong, Y. Y., & Jiang, J. (2014). Regret causes ego-depletion and finding benefits in the regrettable events alleviates ego-depletion. *Journal of General Psychology*, 141(3), 169–206. <https://doi.org/10.1080/00221309.2014.884053>
- Garrison, K. E., Finley, A. J., & Schmeichel, B. J. (2019). Ego Depletion Reduces Attention Control: Evidence From Two High-Powered Preregistered Experiments. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 45(5), 728–739. <https://doi.org/10.1177/0146167218796473>
- Gauggel, S., Heusinger, A., Forkmann, T., Boecker, M., Lindenmeyer, J., Miles Cox, W., & Staedtgen, M. (2010). Effects of alcohol cue exposure on response inhibition in detoxified alcohol-dependent patients. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 34(9), 1584–1589. <https://doi.org/10.1111/j.1530-0277.2010.01243.x>
- Gawronski, B., Bodenhausen, G. V., & Becker, A. P. (2007). I like it, because I like myself: Associative self-anchoring and post-decisional change of implicit evaluations. *Journal of Experimental Social Psychology*, 43(2), 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2006.04.001>

- Gendolla, G. H. E., & Richter, M. (2005). Ego involvement and effort: Cardiovascular, electrodermal, and performance effects. *Psychophysiology*, *42*(5), 595–603. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2005.00314.x>
- Gendolla, G. H. E., & Richter, M. (2010). Effort Mobilization when the Self is Involved: Some Lessons from the Cardiovascular System. *Review of General Psychology*, *14*(3), 212–226. <https://doi.org/10.1037/a0019742>
- Gendolla, G. H. E., Wright, R. A., & Richter, M. (2012). Effort Intensity: Some Insights From the Cardiovascular System. In R. M. Ryan (Ed.), *The Oxford Handbook of Human Motivation* (Issue January, pp. 419–438). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780195399820.013.0024>
- 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*(JULY), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2015.00176>
- Giboin, L. S., & Wolff, W. (2019). The effect of ego depletion or mental fatigue on subsequent physical endurance performance: A meta-analysis. *Performance Enhancement and Health*, *7*(1–2), 100150. <https://doi.org/10.1016/j.peh.2019.100150>
- Graham, J. D., & Bray, S. R. (2015). Self-control strength depletion reduces self-efficacy and impairs exercise performance. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *37*(5), 477–488. <https://doi.org/10.1123/jsep.2015-0064>
- Graham, J. D., Martin Ginis, K. A., & Bray, S. R. (2016). Exertion of self-control increases fatigue, reduces task self-efficacy, and impairs performance of resistance exercise. *Sport, Exercise, and Performance Psychology*, *6*(1), 70–88. <https://doi.org/10.1037/spy0000074>
- Graham, J. D., Sonne, M. W. L., & Bray, S. R. (2014). It wears me out just imagining it! Mental imagery leads to muscle fatigue and diminished performance of isometric exercise. *Biological Psychology*, *103*(1), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2014.07.018>
- Hagger, M. S., Chatzisarantis, N. L. D., Alberts, H., Anggono, C. O., Batailler, C., Birt, A. R., Brand, R., Brandt, M. J., Brewer, G. A., Bruyneel, S., Calvillo, D. P., Campbell, W. K., Cannon, P. R., Carlucci, M., Carruth, N. P., Cheung, T. T. L., Crowell, A., De Ridder, D. T. D., Dewitte, S., ... Zwieneberg, M. (2016). A Multilab Preregistered Replication of the Ego-Depletion Effect. *Perspectives on Psychological Science*, *11*(4), 546–573.

<https://doi.org/10.1177/1745691616652873>

- Hagger, M. S., Wood, C., Stiff, C., & Chatzisarantis, N. L. D. (2010). Ego Depletion and the Strength Model of Self-Control: A Meta-Analysis. *Psychological Bulletin*, *136*(4), 495–525. <https://doi.org/10.1037/a0019486>
- Handayani, D., Wahab, A., & Yaacob, H. (2015). Recognition of emotions in video clips: The self-assessment manikin validation. *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, *13*(4), 1343–1351. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v13i4.2735>
- Hardy, L. (1990). A catastrophe model of performance in sport. In *Stress and performance in sport*. (pp. 81–106). John Wiley & Sons.
- Head, J. R., Tenan, M. S., Tweedell, A. J., Price, T. F., LaFiandra, M. E., & Helton, W. S. (2016). Cognitive fatigue influences time-on-task during bodyweight resistance training exercise. *Frontiers in Physiology*, *7*(SEP), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00373>
- Head, J., Tenan, M. S., Tweedell, A. J., LaFiandra, M. E., Morelli, F., Wilson, K. M., Ortega, S. V., & Helton, W. S. (2017). Prior mental fatigue impairs marksmanship decision performance. *Frontiers in Physiology*, *8*(SEP), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00680>
- Hofmann, W., Schmeichel, B. J., & Baddeley, A. D. (2012). Executive functions and self-regulation. *Trends in Cognitive Sciences*, *16*(3), 174–180. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.01.006>
- Holgado, D., Sanabria, D., Perales, J., & Vadillo, M. (2019). *Mental fatigue might be not so bad for exercise performance after all: a systematic review and bias-sensitive meta-analysis*. *3*(1), 1–14. <https://doi.org/10.31236/osf.io/9dhh7>
- Huynh, H., & Feldt, L. S. (1976). Estimation of the Box Correction for Degrees of Freedom from Sample Data in Randomized Block and Split-Plot Designs. *Journal of Educational Statistics*, *1*(1), 69–82. <https://doi.org/10.3102/10769986001001069>
- Imhoff, R., Schmidt, A. F., & Gerstenberg, F. (2014). Exploring the interplay of trait self-control and ego depletion: Empirical evidence for ironic effects. *European Journal of Personality*, *28*(5), 413–424. <https://doi.org/10.1002/per.1899>

- Inzlicht, M., & Gutsell, J. N. (2007). Running on empty: Neural signals for self-control failure. *Psychological Science*, *18*(11), 933–937. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.02004.x>
- Inzlicht, M., McKay, L., & Aronson, J. (2006). Stigma as ego depletion: How being the target of prejudice affects self-control. *Psychological Science*, *17*(3), 262–269. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01695.x>
- Inzlicht, M., & Schmeichel, B. J. (2012). What Is Ego Depletion? Toward a Mechanistic Revision of the Resource Model of Self-Control. *Perspectives on Psychological Science*, *7*(5), 450–463. <https://doi.org/10.1177/1745691612454134>
- Inzlicht, M., Schmeichel, B. J., & Macrae, C. N. (2014). Why self-control seems (but may not be) limited. *Trends in Cognitive Sciences*, *18*(3), 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.12.009>
- Isacescu, J., Struk, A. A., & Danckert, J. (2017). Cognitive and affective predictors of boredom proneness. *Cognition and Emotion*, *31*(8), 1741–1748. <https://doi.org/10.1080/02699931.2016.1259995>
- Ishihara, S. (1918). Tests for Color Blindness. *American Journal of Ophthalmology*, *1*(5), 376. [https://doi.org/10.1016/S0002-9394\(18\)90663-X](https://doi.org/10.1016/S0002-9394(18)90663-X)
- Jacquet, T., Lepers, R., Poulin-Charronnat, B., Bard, P., Pfister, P., & Pageaux, B. (2021). Mental fatigue induced by prolonged motor imagery increases perception of effort and the activity of motor areas. *Neuropsychologia*, *150*(November 2020). <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2020.107701>
- Job, V., Bernecker, K., Miketta, S., & Friese, M. (2015). Implicit theories about willpower predict the activation of a rest goal following self-control exertion. *Journal of Personality and Social Psychology*, *109*(4), 694–706. <https://doi.org/10.1037/pspp0000042>
- Job, V., Dweck, C. S., & Walton, G. M. (2010). Ego depletion-is it all in your head? implicit theories about willpower affect self-regulation. *Psychological Science*, *21*(11), 1686–1693. <https://doi.org/10.1177/0956797610384745>
- Job, V., Walton, G. M., Bernecker, K., & Dweck, C. S. (2015). Implicit theories about willpower predict self-regulation and grades in everyday life. *Journal of Personality and Social Psychology*, *108*(4), 637–647. <https://doi.org/10.1037/pspp0000014>

- Joule, R. V., & Beauvois, J. L. (2004). *Petit traité de manipulation à l'usage des honnêtes gens* (Presses universitaires de Grenoble (Ed.)).
- Kane, M. J., Brown, L. H., McVay, J. C., Silvia, P. J., Myin-Germeys, I., & Kwapil, T. R. (2007). For whom the mind wanders, and when: An experience-sampling study of working memory and executive control in daily life. *Psychological Science, 18*(7), 614–621. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01948.x>
- Karoly, P. (1993). Mechanisms of Self-Regulation: A Systems View. *Annual Review of Psychology, 44*(1), 23–52. <https://doi.org/10.1146/annurev.ps.44.020193.000323>
- Kim, C., Johnson, N. F., & Gold, B. T. (2012a). Common and distinct neural mechanisms of attentional switching and response conflict. *Brain Research, 1469*(1), 92–102. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2012.06.013>
- Kim, C., Johnson, N. F., & Gold, B. T. (2012b). Common and distinct neural mechanisms of attentional switching and response conflict. *Brain Research, 1469*(1), 92–102. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2012.06.013>
- Kligfield, P., Gettes, L. S., Bailey, J. J., Childers, R., Deal, B. J., Hancock, E. W., van Herpen, G., Kors, J. A., Macfarlane, P., Mirvis, D. M., Pahlm, O., Rautaharju, P., & Wagner, G. S. (2007). Recommendations for the Standardization and Interpretation of the Electrocardiogram. Part I: The Electrocardiogram and Its Technology A Scientific Statement From the American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee, Council on Clin. *Journal of the American College of Cardiology, 49*(10), 1109–1127. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2007.01.024>
- Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis. *Brain Research Reviews, 29*(2–3), 169–195. [https://doi.org/10.1016/S0165-0173\(98\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0173(98)00056-3)
- Kool, W., & Botvinick, M. (2014). A labor/leisure tradeoff in cognitive control. *Motivation Science, 1*(S), 3–18. <https://doi.org/10.1037/2333-8113.1.S.3>
- Kurzban, R. (2010). Does the brain consume additional glucose during self-control tasks? *Evolutionary Psychology, 8*(2), 244–259. <https://doi.org/10.1177/147470491000800208>
- Kurzban, R., Duckworth, A., Kable, J. W., & Myers, J. (2013). An opportunity cost model of subjective effort and task performance. *Behavioral and Brain Sciences, 36*(6), 661–679.

<https://doi.org/10.1017/S0140525X12003196>

- Laborde, S., Mosley, E., & Mertgen, A. (2018). Vagal Tank theory: The three Rs of cardiac vagal control functioning - resting, reactivity, and recovery. *Frontiers in Neuroscience, 12*(JUL), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00458>
- Lambourne, K., & Tomporowski, P. (2010). The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: A meta-regression analysis. *Brain Research, 1341*, 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.03.091>
- Lee, F. K. S., & Zelman, D. C. (2019). Boredom proneness as a predictor of depression, anxiety and stress: The moderating effects of dispositional mindfulness. *Personality and Individual Differences, 146*(April), 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2019.04.001>
- Lench, H. C. (Ed.). (2018). *The Function of Emotions*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-77619-4>
- Leung, L. W. S., & Borst, J. G. G. (1987). Electrical activity of the cingulate cortex. I. Generating mechanisms and relations to behavior. *Brain Research, 407*(1), 68–80. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(87\)91220-0](https://doi.org/10.1016/0006-8993(87)91220-0)
- Leys, C., Ley, C., Klein, O., Bernard, P., & Licata, L. (2013). Detecting outliers: Do not use standard deviation around the mean, use absolute deviation around the median. *Journal of Experimental Social Psychology, 49*(4), 764–766. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2013.03.013>
- Lindner, C., Nagy, G., Arhuis, W. A. R., & Retelsdorf, J. (2017). A new perspective on the interplay between self-control and cognitive performance: Modeling progressive depletion patterns. *PLoS ONE, 12*(6), 1–22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180149>
- Lindner, C., Nagy, G., & Retelsdorf, J. (2018). The need for self-control in achievement tests: Changes in students' state self-control capacity and effort investment. *Social Psychology of Education, 21*(5), 1113–1131. <https://doi.org/10.1007/s11218-018-9455-9>
- Loprinzi, P. D., Blough, J., Crawford, L., Ryu, S., Zou, L., & Li, H. (2019). The temporal effects of acute exercise on episodic memory function: Systematic review with meta-analysis. *Brain Sciences, 9*(4). <https://doi.org/10.3390/brainsci9040087>
- Lurquin, J. H., Michaelson, L. E., Barker, J. E., Gustavson, D. E., Von Bastian, C. C., Carruth, N. P., & Miyake, A. (2016). No evidence of the ego-depletion effect across task

- characteristics and individual differences: A pre-registered study. *PLoS ONE*, *11*(2), 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147770>
- Mackworth, N. H. (1948). The Breakdown of Vigilance during Prolonged Visual Search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *1*(1), 6–21. <https://doi.org/10.1080/17470214808416738>
- MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review. *Psychological Bulletin*, *109*(2), 163–203. <https://doi.org/10.1037//0033-2909.109.2.163>
- MacLeod, C. M., & Dunbar, K. (1988). Training and Stroop-Like Interference: Evidence for a Continuum of Automaticity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *14*(1), 126–135. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.14.1.126>
- MacMahon, C., Hawkins, Z., & Schücker, L. (2019). Beep Test Performance Is Influenced by 30 Minutes of Cognitive Work. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *51*(9), 1928–1934. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001982>
- Marcora, S. M., Staiano, W., & Manning, V. (2009). Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, *106*(3), 857–864. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.91324.2008>
- Mauss, I. B., & Robinson, M. D. (2009). Measures of emotion: A review. *Cognition and Emotion*, *23*(2), 209–237. <https://doi.org/10.1080/02699930802204677>
- May, K., & Hittner, J. B. (2012). Effect of Correlation on Power in Within-Subjects versus between-Subjects Designs. *Comprehensive Psychology*, *1*, 03.IT.1.3. <https://doi.org/10.2466/03.it.1.3>
- Mazoyer, B., Zago, L., Mellet, E., Bricogne, S., Etard, O., Houdé, O., Crivello, F., Joliot, M., Petit, L., & Tzourio-Mazoyer, N. (2001). Cortical networks for working memory and executive functions sustain the conscious resting state in man. *Brain Research Bulletin*, *54*(3), 287–298. [https://doi.org/10.1016/S0361-9230\(00\)00437-8](https://doi.org/10.1016/S0361-9230(00)00437-8)
- McKiernan, K. A., Kaufman, J. N., Kucera-Thompson, J., & Binder, J. R. (2003). A parametric manipulation of factors affecting task-induced deactivation in functional neuroimaging. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *15*(3), 394–408. <https://doi.org/10.1162/089892903321593117>
- McMorris, T., Barwood, M., Hale, B. J., Dicks, M., & Corbett, J. (2018). Cognitive fatigue

- effects on physical performance: A systematic review and meta-analysis. *Physiology and Behavior*, 188(November 2017), 103–107. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.01.029>
- Mead, N. L., Baumeister, R. F., Gino, F., Schweitzer, M. E., & Ariely, D. (2009). Too tired to tell the truth: Self-control resource depletion and dishonesty. *Journal of Experimental Social Psychology*, 45(3), 594–597. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2009.02.004>
- Milgram, S. (1964). Group pressure and action against a person. *The Journal of Abnormal and Social Psychology*, 69(2), 137–143. <https://doi.org/10.1037/h0047759>
- Millar, B. M. (2017). Clocking self-regulation: why time of day matters for health psychology. *Health Psychology Review*, 11(4), 345–357. <https://doi.org/10.1080/17437199.2017.1316673>
- Milyavskaya, M., & Inzlicht, M. (2017). What’s So Great About Self-Control? Examining the Importance of Effortful Self-Control and Temptation in Predicting Real-Life Depletion and Goal Attainment. *Social Psychological and Personality Science*, 8(6), 603–611. <https://doi.org/10.1177/1948550616679237>
- Milyavskaya, M., Inzlicht, M., Johnson, T., & Larson, M. J. (2019). Reward sensitivity following boredom and cognitive effort: A high-powered neurophysiological investigation. *Neuropsychologia*, 123, 159–168. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.03.033>
- Mischel, W, Shoda, Y., & Rodriguez, M. (1989). Delay of gratification in children. *Science*, 244(4907), 933–938. <https://doi.org/10.1126/science.2658056>
- Mischel, Walter, & Ebbesen, E. B. (1970). Attention in delay of gratification. *Journal of Personality and Social Psychology*, 16(2), 329–337. <https://doi.org/10.1037/h0029815>
- Mischel, Walter, Ebbesen, E. B., & Raskoff Zeiss, A. (1972). Cognitive and attentional mechanisms in delay of gratification. In *Journal of Personality and Social Psychology* (Vol. 21, Issue 2, pp. 204–218). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/h0032198>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex “Frontal Lobe” Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>

- Moffitt, T. E., Arseneault, L., Belsky, D., Dickson, N., Hancox, R. J., Harrington, H. L., Houts, R., Poulton, R., Roberts, B. W., Ross, S., Sears, M. R., Thomson, W. M., & Caspi, A. (2011). A gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *108*(7), 2693–2698. <https://doi.org/10.1073/pnas.1010076108>
- Molden, D. C., Hui, C. M., Scholer, A. A., Meier, B. P., Noreen, E. E., D’Agostino, P. R., & Martin, V. (2012). Motivational Versus Metabolic Effects of Carbohydrates on Self-Control. *Psychological Science*, *23*(10), 1137–1144. <https://doi.org/10.1177/0956797612439069>
- Moller, A. C., Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2006). Choice and ego-depletion: The moderating role of autonomy. *Personality and Social Psychology Bulletin*, *32*(8), 1024–1036. <https://doi.org/10.1177/0146167206288008>
- Moore, T. M., & Picou, E. M. (2018). A potential bias in subjective ratings of mental effort. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *61*(9), 2405–2421. [https://doi.org/10.1044/2018\\_JSLHR-H-17-0451](https://doi.org/10.1044/2018_JSLHR-H-17-0451)
- Morris, J. (1995). Observations: SAM: the Self-Assessment Manikin; an efficient cross-cultural measurement of emotional response. *Journal of Advertising Research*, *35*(6), 63–68.
- Muraven, M. (2008). Prejudice as Self-Control Failure<sup>1</sup>. *Journal of Applied Social Psychology*, *38*(2), 314–333. <https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.2007.00307.x>
- Muraven, M., & Baumeister, R. F. (2000). Self-Regulation and Depletion of Limited Resources: Does Self-Control Resemble a Muscle? *Psychological Bulletin*, *126*(2), 247–259. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.126.2.247>
- Muraven, M., Collins, R. L., & Nienhaus, K. (2002). Self-control and alcohol restraint: An initial application of the self-control strength model. *Psychology of Addictive Behaviors*, *16*(2), 113–120. <https://doi.org/10.1037/0893-164X.16.2.113>
- Muraven, M., Pogarsky, G., & Shmueli, D. (2006). Self-control depletion and the general theory of crime. *Journal of Quantitative Criminology*, *22*(3), 263–277. <https://doi.org/10.1007/s10940-006-9011-1>
- Muraven, M., Shmueli, D., & Burkley, E. (2006). Conserving self-control strength. *Journal of Personality and Social Psychology*, *91*(3), 524–537. <https://doi.org/10.1037/0022->

3514.91.3.524

- Muraven, M., & Slessareva, E. (2003). Mechanisms of Self-Control Failure: Motivation and Limited Resources. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 29(7), 894–906. <https://doi.org/10.1177/0146167203029007008>
- Muraven, M., Tice, D. M., & Baumeister, R. F. (1998). Self-Control as Limited Resource: Regulatory Depletion Patterns. *Journal of Personality and Social Psychology*, 74(3), 774–789. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.74.3.774>
- Nealis, L. J., Van Allen, Z. M., & Zelenski, J. M. (2016). Positive Affect and Cognitive Restoration: Investigating the Role of Valence and Arousal. *PLoS ONE*, 11(1), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147275>
- Nicolò, A., Sacchetti, M., Girardi, M., McCormick, A., Angius, L., Bazzucchi, I., & Marcora, S. M. (2019). A comparison of different methods to analyse data collected during time-to-exhaustion tests. *Sport Sciences for Health*, 15(3), 667–679. <https://doi.org/10.1007/s11332-019-00585-7>
- Nitobe, I. (1900). *Bushidô: The Soul of Japan. The Code of Samurai*. (G. Trédaniel (Ed.); Deuxième). <http://www.editions-tredaniel.com/bushido-le-code-du-samourai-p-7849.html>
- O'Connor, P. J., & Cook, D. B. (2001). Moderate-intensity muscle pain can be produced and sustained during cycle ergometry. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(6), 1046–1051. <https://doi.org/10.1097/00005768-200106000-00026>
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97–113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- Osgood, J. M. (2017). Effect of Ego-Depletion Typing Task on Stroop Does Not Extend to Diverse Online Sample. *Journal of Articles in Support of the Null Hypothesis*, 13(2), 83–90.
- Pageaux, B. (2016). Perception of effort in Exercise Science: Definition, measurement and perspectives. *European Journal of Sport Science*, 16(8), 885–894. <https://doi.org/10.1080/17461391.2016.1188992>
- Pageaux, B., & Lepers, R. (2018). The effects of mental fatigue on sport-related performance. In S. Marcora & M. B. T.-P. in B. R. Sarkar (Eds.), *Sport and the Brain: The Science of*

- Preparing, Enduring and Winning, Part C* (Vol. 240, pp. 291–315). Elsevier.  
<https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2018.10.004>
- Pageaux, B., Lepers, R., Dietz, K. C., & Marcora, S. M. (2014). Response inhibition impairs subsequent self-paced endurance performance. *European Journal of Applied Physiology*, *114*(5), 1095–1105. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2838-5>
- Pageaux, B., Marcora, S. M., & Lepers, R. (2013). Prolonged mental exertion does not alter neuromuscular function of the knee extensors. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *45*(12), 2254–2264. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31829b504a>
- Parkin, J. M., Carey, M. F., Zhao, S., & Febbraio, M. A. (1999). Effect of ambient temperature on human skeletal muscle metabolism during fatiguing submaximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, *86*(3), 902–908. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.86.3.902>
- Paus, T., Koski, L., Caramanos, Z., & Westbury, C. (1998). Regional differences in the effects of task difficulty and motor output on blood flow response in the human anterior cingulate cortex. *NeuroReport*, *9*(9).
- Payne, K., & Lundberg, K. (2014). The Affect Misattribution Procedure: Ten Years of Evidence on Reliability, Validity, and Mechanisms. *Social and Personality Psychology Compass*, *8*(12), 672–686. <https://doi.org/10.1111/spc3.12148>
- Penna, E. M., Filho, E., Wanner, S. P., Campos, B. T., Quinan, G. R., Mendes, T. T., Smith, M. R., & Prado, L. S. (2018). Mental fatigue impairs physical performance in young swimmers. *Pediatric Exercise Science*, *30*(2), 208–215. <https://doi.org/10.1123/pes.2017-0128>
- Pesce, C., Crova, C., Cereatti, L., Casella, R., & Bellucci, M. (2009). Physical activity and mental performance in preadolescents: Effects of acute exercise on free-recall memory. *Mental Health and Physical Activity*, *2*(1), 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2009.02.001>
- Pontifex, M. B., McGowan, A. L., Chandler, M. C., Gwizdala, K. L., Parks, A. C., Fenn, K., & Kamijo, K. (2019). A primer on investigating the after effects of acute bouts of physical activity on cognition. *Psychology of Sport and Exercise*, *40*(August 2018), 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2018.08.015>
- Porges, S. W. (2001). The polyvagal theory: phylogenetic substrates of a social nervous system.

*International Journal of Psychophysiology*, 42(2), 123–146.  
[https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(01\)00162-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(01)00162-3)

- Preston, J., & Wegner, D. M. (2009). Elbow grease: when action feels like work BT - Oxford Handbook of Human Action. In *Oxford Handbook of Human Action* (Issue 27, pp. 469–486).
- Raichle, M. E., & Mintun, M. A. (2006). Brain work and brain imaging. *Annual Review of Neuroscience*, 29, 449–476. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.29.051605.112819>
- Richter, M., Gendolla, G. H. E., & Wright, R. A. (2016). Three Decades of Research on Motivational Intensity Theory. In *Advances in Motivation Science* (Vol. 3). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/bs.adms.2016.02.001>
- Ridder, D. T. D. De, Lensvelt-mulders, G., Finkenauer, C., Stok, F. M., & Baumeister, R. F. (2012). *Taking Stock of Self-Control : A Meta-Analysis of How Trait Self-Control Relates to a Wide Range of Behaviors*. <https://doi.org/10.1177/1088868311418749>
- Salmon, S. J., Adriaanse, M. A., De Vet, E., Fennis, B. M., & De Ridder, D. T. D. (2014). “When the going gets tough, who keeps going?” Depletion sensitivity moderates the ego-depletion effect. *Frontiers in Psychology*, 5(JUN), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00647>
- Sanders, M. A., Shirk, S. D., Burgin, C. J., & Martin, L. L. (2012). The Gargle Effect: Rinsing the Mouth With Glucose Enhances Self-Control. *Psychological Science*, 23(12), 1470–1472. <https://doi.org/10.1177/0956797612450034>
- Schlam, T. R., Wilson, N. L., Shoda, Y., Mischel, W., & Ayduk, O. (2013). Preschoolers’ delay of gratification predicts their body mass 30 years later. *Journal of Pediatrics*, 162(1), 90–93. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2012.06.049>
- Schmeichel, B. J., Harmon-Jones, C., & Harmon-Jones, E. (2010). Exercising Self-Control Increases Approach Motivation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 99(1), 162–173. <https://doi.org/10.1037/a0019797>
- Schmeichel, B. J., & Vohs, K. D. (2009). Self-Affirmation and Self-Control: Affirming Core Values Counteracts Ego Depletion. *Journal of Personality and Social Psychology*, 96(4), 770–782. <https://doi.org/10.1037/a0014635>
- Schmeichel, B. J., & Zell, A. (2007). Trait self-control predicts performance on behavioral tests

- of self-control. *Journal of Personality*, 75(4), 743–756. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6494.2007.00455.x>
- Seeley, E. A., & Gardner, W. L. (2003). The “Selfless” and Self-Regulation: The Role of Chronic Other-Orientation in Averting Self-Regulatory Depletion. *Self and Identity*, 2(2), 103–117. <https://doi.org/10.1080/15298860309034>
- Segerstrom, S. C., & Nes, L. S. (2007). Heart rate variability reflects self-regulatory strength, effort, and fatigue. *Psychological Science*, 18(3), 275–281. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01888.x>
- Seli, P., Cheyne, J. A., Xu, M., Purdon, C., & Smilek, D. (2015). Motivation, intentionality, and mind wandering: Implications for assessments of task-unrelated thought. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 41(5), 1417–1425. <https://doi.org/10.1037/xlm0000116>
- Shenhav, A., Straccia, M. A., Cohen, J. D., & Botvinick, M. M. (2014). Anterior cingulate engagement in a foraging context reflects choice difficulty, not foraging value. *Nature Neuroscience*, 17(9), 1249–1254. <https://doi.org/10.1038/nn.3771>
- Shi, L., Lin, L., & Omboni, S. (2019). The trim-and-fill method for publication bias: Practical guidelines and recommendations based on a large database of meta-analyses. *Medicine (United States)*, 98(23). <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000015987>
- Sibley, B. A., & Etnier, J. L. (2003). The Relationship between Physical Activity and Cognition in Children: A Meta-Analysis. *Pediatric Exercise Science*, 15(3), 243–256. <https://doi.org/10.1123/pes.15.3.243>
- Silvestrini, N., & Rainville, P. (2013). After-effects of cognitive control on pain. *European Journal of Pain (United Kingdom)*, 17(8), 1225–1233. <https://doi.org/10.1002/j.1532-2149.2013.00299.x>
- Silvestrini, N., Vuignier, E., Matthey, A., & Piguet, V. (2019). The Perception of Available Resources Influences the After-Effect of Cognitive Control on Cognitive Performance and Pain. *Social Psychology*, 50(5–6), 332–344. <https://doi.org/10.1027/1864-9335/a000386>
- Simpson, E. H. (1951). The Interpretation of Interaction in Contingency Tables. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 13(2), 238–241. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1951.tb00088.x>

- Sjåstad, H., & Baumeister, R. F. (2018). The Future and the Will: Planning requires self-control, and ego depletion leads to planning aversion. *Journal of Experimental Social Psychology*, 76(May), 127–141. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2018.01.005>
- Smith, M. R., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2015). Mental fatigue impairs intermittent running performance. In *Medicine and Science in Sports and Exercise* (Vol. 47, Issue 8). <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000592>
- Sommer, K. L., & Yoon, J. (2013). When silence is golden: Ostracism as resource conservation during aversive interactions. *Journal of Social and Personal Relationships*, 30(7), 901–919. <https://doi.org/10.1177/0265407512473006>
- Stanley, T. D., & Doucouliagos, H. (2014). Meta-regression approximations to reduce publication selection bias. *Research Synthesis Methods*, 5(1), 60–78. <https://doi.org/10.1002/jrsm.1095>
- Stillman, T. F., Tice, D. M., Fincham, F. D., & Lambert, N. M. (2009). The Psychological Presence of Family Improves Self-Control. *Journal of Social and Clinical Psychology*, 28(4), 498–529. <https://doi.org/https://doi.org/10.1521/jscp.2009.28.4.498>
- Stork, M. J., Graham, J. D., Bray, S. R., & Martin Ginis, K. A. (2017). Using self-reported and objective measures of self-control to predict exercise and academic behaviors among first-year university students. *Journal of Health Psychology*, 22(8), 1056–1066. <https://doi.org/10.1177/1359105315623627>
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643–662. <https://doi.org/10.1037/h0054651>
- Struk, A. A., Scholer, A. A., & Danckert, J. (2016). A self-regulatory approach to understanding boredom proneness. *Cognition and Emotion*, 30(8), 1388–1401. <https://doi.org/10.1080/02699931.2015.1064363>
- Stucke, T. S., & Baumeister, R. F. (2006). Ego depletion and aggressive behavior: Is the inhibition of aggression a limited resource? *European Journal of Social Psychology*, 36(1), 1–13. <https://doi.org/10.1002/ejsp.285>
- Svendsen, L. (2005a). *A philosophy of boredom*. Reaktion Books.
- Svendsen, L. (2005b). A philosophy of boredom. In *Philosophy*. Reaktion Books. <https://doi.org/10.1093/obo/9780195396577-0419>

- Tangney, J. P., Baumeister, R. F., & Boone, A. L. (2004). Tangney, Baumeister and Boone(2008)\_High self-control predicts good adjustment, less pathology, better grades, and interpersonal success.pdf. *Journal of Personality*, 2(April 2004), 54.
- Thayer, J. F., Hansen, A. L., & Johnsen, B. H. (2010). The Non-invasive Assessment of Autonomic Influences on the Heart Using Impedance Cardiography and Heart Rate Variability. In A. Steptoe (Ed.), *Handbook of Behavioral Medicine: Methods and Applications* (pp. 723–740). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-09488-5\\_47](https://doi.org/10.1007/978-0-387-09488-5_47)
- Tuk, M. A., Zhang, K., & Sweldens, S. (2015). The propagation of self-control: Self-control in one domain simultaneously improves self-control in other domains. *Journal of Experimental Psychology: General*, 144(3), 639–654. <https://doi.org/10.1037/xge0000065>
- Vadillo, M. A. (2019). Ego Depletion May Disappear by 2020. *Social Psychology*, 50(5–6), 282–291. <https://doi.org/10.1027/1864-9335/a000375>
- Van Cutsem, J., Marcora, S., De Pauw, K., Bailey, S., Meeusen, R., & Roelands, B. (2017). The Effects of Mental Fatigue on Physical Performance: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 47(8), 1569–1588. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0672-0>
- Van De Vijver, F. J. R., & Hambleton, R. K. (1996). Translating tests: Some practical guidelines. *European Psychologist*, 1(2), 89–99. <http://arno.uvt.nl/show.cgi?fid=28531%0Ahttp://repository.uvt.nl/id/ir-uvt-nl:oai:wo.uvt.nl:72343>
- Veness, D., Patterson, S. D., Jeffries, O., & Waldron, M. (2017). The effects of mental fatigue on cricket-relevant performance among elite players. *Journal of Sports Sciences*, 35(24), 2461–2467. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1273540>
- Vohs, K. D., Baumeister, R. F., & Ciarocco, N. J. (2005). Self-regulation and self-presentation: Regulatory resource depletion impairs impression management and effortful self-presentation depletes regulatory resources. *Journal of Personality and Social Psychology*, 88(4), 632–657. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.88.4.632>
- Vohs, K. D., Baumeister, R. F., & Schmeichel, B. J. (2012). Motivation, personal beliefs, and limited resources all contribute to self-control. *Journal of Experimental Social Psychology*,

48(4), 943–947. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2012.03.002>

- Vohs, K. D., Baumeister, R. F., Schmeichel, B. J., Twenge, J. M., Nelson, N. M., & Tice, D. M. (2008). Making Choices Impairs Subsequent Self-Control: A Limited-Resource Account of Decision Making, Self-Regulation, and Active Initiative. *Journal of Personality and Social Psychology*, 94(5), 883–898. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.94.5.883>
- Vohs, K. D., Schmeichel, B. J., Lohmann, S., Gronau, Q. F., Finley, A. J., Ainsworth, S. E., Alquist, J. L., Baker, M. D., Brizi, A., Bunyi, A., Butschek, G. J., Campbell, C., Capaldi, J., Cau, C., Chambers, H., Chatzisarantis, N. L. D., Christensen, W. J., Clay, S. L., Curtis, J., ... Albarracín, D. (2021). A Multisite Preregistered Paradigmatic Test of the Ego-Depletion Effect. *Psychological Science*, 095679762198973. <https://doi.org/10.1177/0956797621989733>
- Wang, Y., Wang, G., Chen, Q., & Li, L. (2017). Depletion, moral identity, and unethical behavior: Why people behave unethically after self-control exertion. *Consciousness and Cognition*, 56(May), 188–198. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2017.09.007>
- Westbrook, A., Kester, D., & Braver, T. S. (2013). What Is the Subjective Cost of Cognitive Effort? Load, Trait, and Aging Effects Revealed by Economic Preference. *PLoS ONE*, 8(7), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068210>
- Westgate, E. C., & Wilson, T. D. (2018). Boring thoughts and bored minds: The MAC model of boredom and cognitive engagement. *Psychological Review*, 125(5), 689–713. <https://doi.org/10.1037/rev0000097>
- Wewers, M. E., & Lowe, N. K. (1990). A critical review of visual analogue scales in the measurement of clinical phenomena. *Research in Nursing & Health*, 13, 227–236.
- Wiener, N. (1948). *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Technology Press.
- Wimmer, M. C., Dome, L., Hancock, P. J. B., & Wennekers, T. (2019). Is the Letter Cancellation Task a Suitable Index of Ego Depletion?: Empirical and Conceptual Issues. *Social Psychology*, 50(5–6), 345–354. <https://doi.org/10.1027/1864-9335/a000393>
- Wolff, W., & Martarelli, C. S. (2020). Bored Into Depletion? Toward a Tentative Integration of Perceived Self-Control Exertion and Boredom as Guiding Signals for Goal-Directed

- Behavior. *Perspectives on Psychological Science*, 15(5), 1272–1283.  
<https://doi.org/10.1177/1745691620921394>
- Wolff, W., Schüler, J., Hofstetter, J., Baumann, L., Wolf, L., & Dettmers, C. (2019). Trait self-control outperforms trait fatigue in predicting MS patients' cortical and perceptual responses to an exhaustive task. *Neural Plasticity*, 2019.  
<https://doi.org/10.1155/2019/8527203>
- Wolff, W., Sieber, V., Bieleke, M., & Englert, C. (2019). Task duration and task order do not matter: no effect on self-control performance. *Psychological Research*.  
<https://doi.org/10.1007/s00426-019-01230-1>
- Wright, R. A. (2014). Presidential address 2013: Fatigue influence on effort—considering implications for self-regulatory restraint. *Motivation and Emotion*, 38(2), 183–195.  
<https://doi.org/10.1007/s11031-014-9406-5>
- Xu, H., Bègue, L., & Bushman, B. J. (2012). Too fatigued to care: Ego depletion, guilt, and prosocial behavior. *Journal of Experimental Social Psychology*, 48(5), 1183–1186.  
<https://doi.org/10.1016/j.jesp.2012.03.007>
- Xu, X., Demos, K. E., Leahey, T. M., Hart, C. N., Trautvetter, J., Coward, P., Middleton, K. R., & Wing, R. R. (2014). Failure to replicate depletion of self-control. *PLoS ONE*, 9(10), 1–5. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109950>
- Yakobi, O., Boylan, J., & Danckert, J. (2021). Behavioral and electroencephalographic evidence for reduced attentional control and performance monitoring in boredom. *Psychophysiology*, 58(6), 1–12. <https://doi.org/10.1111/psyp.13816>
- Yam, K. C. (2018). The Effects of Thought Suppression on Ethical Decision Making: Mental Rebound Versus Ego Depletion. *Journal of Business Ethics*, 147(1), 65–79.  
<https://doi.org/10.1007/s10551-015-2944-2>
- Yang, J., Park, K., & Shin, M. (2019). Effects of Ego-Depletion and State Anxiety on Performance Changes in Dart-Throwing Tasks: A Latent Curve Model Approach Reporting Trial Data for Human Participants. *Frontiers in Psychology*, 10(September), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02027>
- Yusainy, C., & Lawrence, C. (2015). Brief mindfulness induction could reduce aggression after depletion. *Consciousness and Cognition*, 33, 125–134.

<https://doi.org/10.1016/j.concog.2014.12.008>

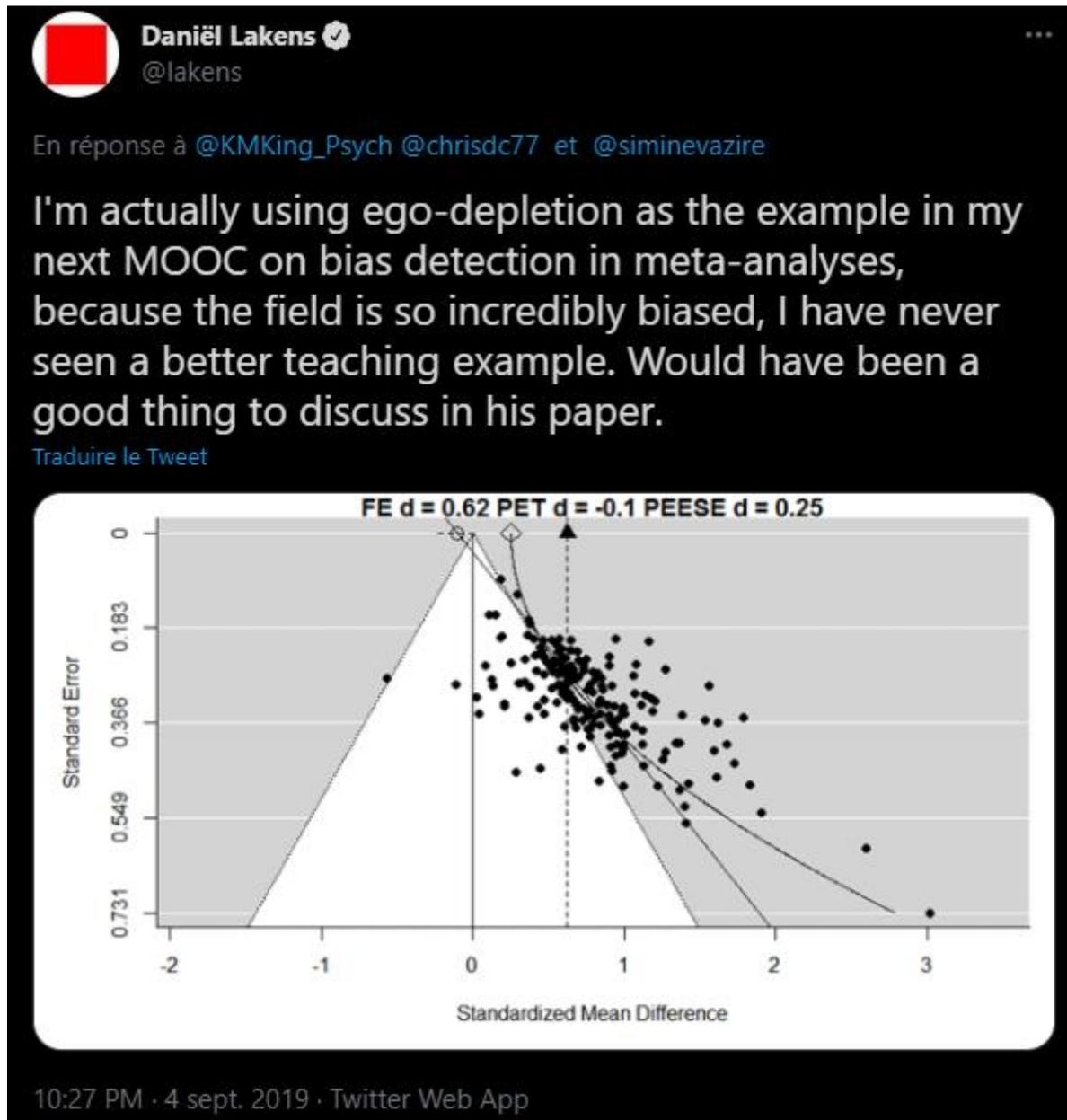
- Zahn, D., Adams, J., Krohn, J., Wenzel, M., Mann, C. G., Gomille, L. K., Jacobi-Scherbening, V., & Kubiak, T. (2016). Heart rate variability and self-control—A meta-analysis. *Biological Psychology, 115*, 9–26. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2015.12.007>
- Zengarini, E., Ruggiero, C., Pérez-Zepeda, M. U., Hoogendijk, E. O., Vellas, B., Mecocci, P., & Cesari, M. (2015). Fatigue: Relevance and implications in the aging population. *Experimental Gerontology, 70*, 78–83. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2015.07.011>
- Zimbardo, P. G., Haney, C., Banks, W. C., & Jaffe, D. (1971). *The Stanford prison experiment*. Zimbardo, Incorporated.

# ANNEXES

## Annexe 1

Tweet de Daniël Lakens. « J'utilise l'épuisement du soi comme exemple dans mon prochain MOOC (massive open only courses) sur la détection des biais dans les méta-analyses, car ce champ est incroyablement biaisé, je n'ai jamais vu de meilleur exemple d'enseignement. Cela aurait pu être une bonne chose à discuter dans ce papier. »

<https://twitter.com/lakens/status/1169344279518568448>



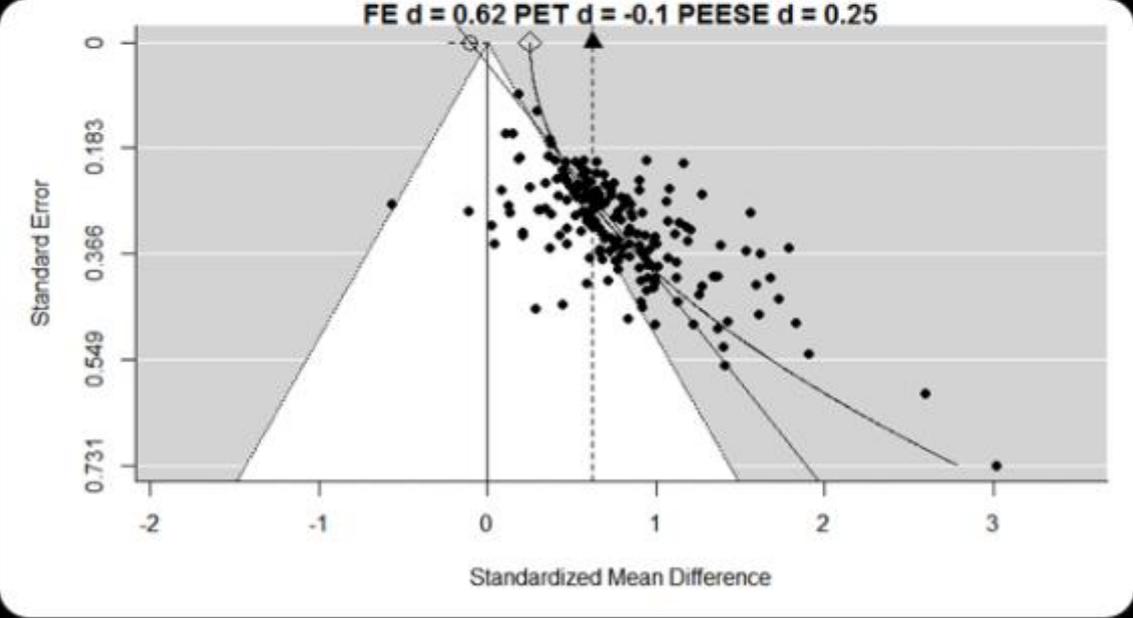
**Daniël Lakens** ✓  
@lakens

En réponse à @KMKing\_Psych @chrisdc77 et @siminevazire

I'm actually using ego-depletion as the example in my next MOOC on bias detection in meta-analyses, because the field is so incredibly biased, I have never seen a better teaching example. Would have been a good thing to discuss in his paper.

[Traduire le Tweet](#)

FE  $d = 0.62$  PET  $d = -0.1$  PEESE  $d = 0.25$



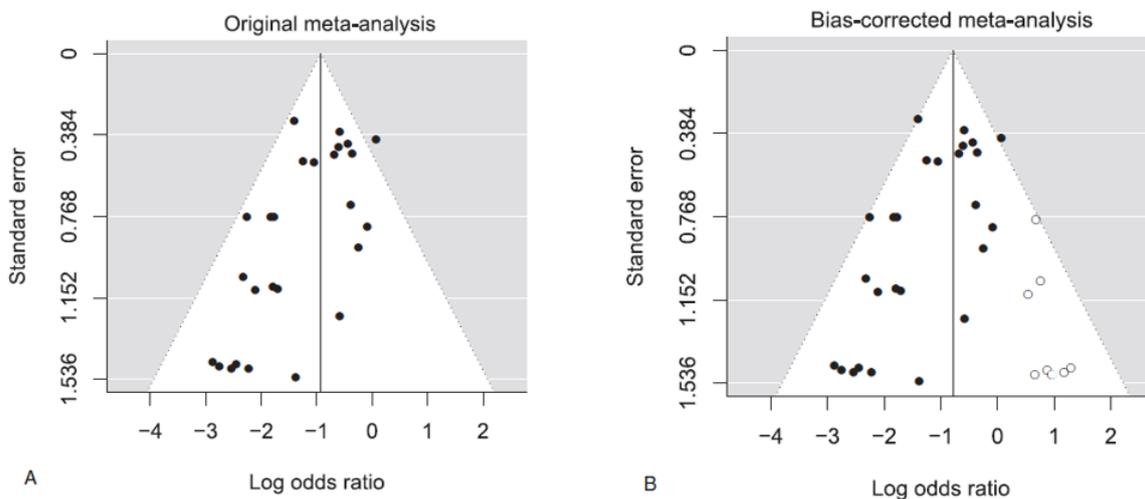
10:27 PM · 4 sept. 2019 · Twitter Web App

## Annexe 2

### Méthode Trim-And-Fill.

Un funnel plot est créé avec l'erreur standard en ordonné afin de prédire la taille de l'effet. Plus l'erreur standard est petite et plus l'étude a de puissance statistique pour trouver l'effet et donc moins il y a de variation de la taille de l'effet observé. En théorie, lorsque l'erreur standard est égale à 0, alors on observe la taille d'effet réelle. Lorsqu'il y a des biais de publication, il est possible d'observer un « trou » dans la distribution des études en fonction de la taille d'effet. Sur le graphique ci-dessous à gauche (A), il est possible d'observer un trou dans la partie droite du graphique. Afin de corriger ce trou, la méthode Trim-And-Fill consiste à le remplir avec les études théoriques qui devrait s'y trouver, comme c'est le cas en rond blanc sur la partie de droite (B).

Image récupéré dans l'article de Shi et al., (2019).



Annexe 3. Questionnaire d'état, administré au début de chaque session.

## Questionnaire état

1 – Combien de cigarettes avez-vous fumé depuis ce matin ? |\_|\_|

Quand était la dernière ? \_\_\_\_\_

2- Combien de tasses de café avez-vous bu depuis ce matin ? |\_|\_|

Quand était le dernier ? \_\_\_\_\_

3- Combien de verres de coca-cola avez-vous bu depuis ce matin ? |\_|\_|

Quand était le dernier ? \_\_\_\_\_

4- Combien de verres de boissons énergétiques ou énergisantes avez-vous bu depuis ce matin ? |\_|\_|

Quand était le dernier ? \_\_\_\_\_

5- Combien de joints de cannabis avez-vous fumé depuis les 12 dernières heures ?

|\_|\_|

6- Combien de pilules d'ecstasy, d'amphétamines ou autres drogues psychostimulantes avez-vous prises depuis les 12 dernières heures ? |\_|\_|

7 – Avez-vous pris des somnifères la nuit dernière ? Oui  Non

Si oui, Quel est le nom du somnifère ? \_\_\_\_\_

8- Avez-vous pris des antidépresseurs ou des anxiolytiques depuis de matin au lever ? Oui  Non

Si oui, quel est le nom du médicament ?

\_\_\_\_\_

9- Combien d'heures avez-vous dormi la nuit dernière ? |\_|\_|

10- Avez-vous réalisé un exercice physique très sollicitant ou épuisant au cours des douze dernières heures ? Oui  Non

Si oui, décrivez succinctement quel type d'exercice vous avez réalisé :

Type : \_\_\_\_\_ (ex : Natation, Marathon)

Durée : |\_|\_|\_| (min)

Intensité :    Légère                       Modérée                       Vigoureuse

11- Avez-vous vécu un événement traumatisant, stressant, contrariant ou frustrant au cours des dernières 24 heures ? Oui  Non

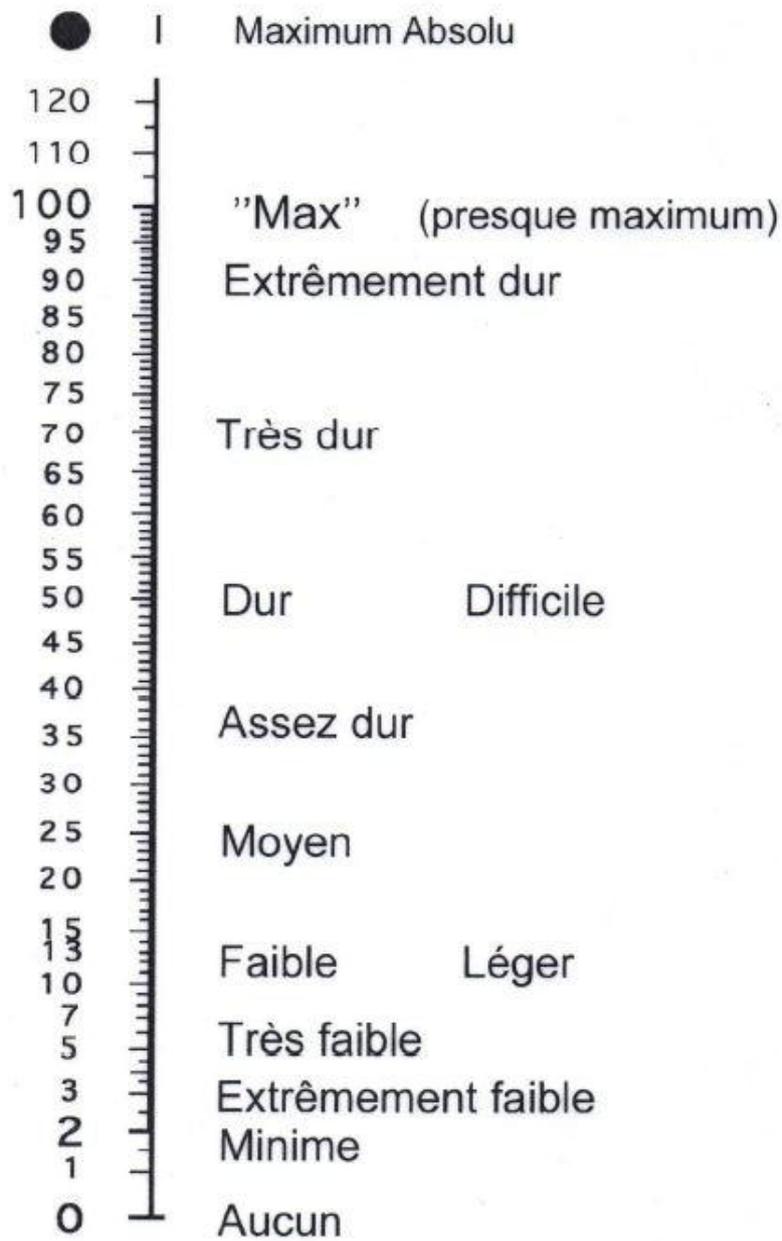
Si oui, lequel ? \_\_\_\_\_

12- Avez-vous pris un médicament aujourd'hui ? Oui  Non

Lequel ? \_\_\_\_\_                      Quand ? \_\_\_\_\_

Annexe 4

Echelle de Borg CR100 (Borg & Kaijser, 2006).



Borg centimax (CR100) scale

Annexe 5

Echelle de Cook, (O'Connor & Cook, 2001)

Douleur

- 0**      **Aucune douleur**
- 0.5**    **Léger inconfort**
- 1**      **Douleur très faible**
- 2**      **Douleur faible**
- 3**      **Douleur moyenne**
- 4**
- 5**      **Douleur forte**
- 6**
- 7**      **Très forte douleur**
- 8**
- 9**
- 10**     **Douleur extrêmement intense**
- **Douleur insupportable**

## Annexe 6

Consignes détaillées des échelles de Borg (perception de l'effort) et de Cook (perception de la douleur).

### **Consignes RPE CR100**

Vous êtes sur le point de réaliser un exercice isométrique avec vos muscles de l'avant-bras. L'échelle fournie contient des chiffres allant de 0 à 100 et sera utilisée pour évaluer votre effort perçu lors de l'exercice. La perception de l'effort est définie comme la sensation représentant l'intensité, la difficulté et la dureté de l'exercice ; c'est à dire la difficulté à contrôler votre avant-bras et à respirer lors de l'exercice que vous allez réaliser.

En d'autres termes, cela correspond à la question :

*« Quel est l'effort nécessaire pour contrôler votre avant-bras et respirer? »*

Nous utilisons cette échelle de telle sorte que vous puissiez traduire en chiffres vos sensations associées à l'effort perçu lors de l'exercice. N'utilisez pas cette échelle pour quantifier votre fatigue (incapacité du muscle à produire de la force) ou votre douleur au niveau de votre avant-bras (picotements, brûlures ...).

Les chiffres de cette échelle représentent l'intensité de vos sensations allant de « Aucun » (effort) à « Max » (effort maximal). Pour vous aider à choisir un nombre qui correspond à vos sensations, considérez les points suivants.

0 : aucun effort du tout.

50 : l'effort est dur, difficile, mais vous pouvez toujours continuer l'exercice.

100 : l'effort est maximal. Cette sensation correspond à celle que vous avez connue lors de la contraction maximale volontaire (MVC) réalisée au début de la séance. Il ne vous semble pas possible de produire un effort supérieur, vous êtes à votre maximum.

Si pendant l'exercice vous percevez un effort comme plus important que celui ressenti pendant la MVC, il est possible de donner un nombre supérieur à 100 (ce en relation avec l'effort perçu pendant la MVC).

### **En résumé**

Ne sous-estimez pas votre perception de l'effort, mais ne la surestimez pas non plus. Il est important de se focaliser sur son propre ressenti et ses propres sensations. Soyez aussi honnête que possible, sans vous focaliser sur la charge physique réel de l'exercice. Ce qui est important c'est votre sensation, votre perception et non pas ce qu'une autre personne pense ou ce qu'une autre personne ressent ou a pu ressentir. Regardez bien les nombres et les expressions avant de donner une valeur. Il n'y a pas de réponse juste ou fausse et nous ne comparons pas vos efforts avec d'autres sujets.

Des questions ?

## Comment quantifier votre douleur au niveau de l'avant-bras ?

Vous êtes sur le point de réaliser un exercice d'endurance sollicitant majoritairement les muscles de votre avant-bras. L'échelle ci-jointe contient des chiffres allant de 0 à 10. Vous allez utiliser cette échelle pour quantifier votre perception de la douleur ressentie dans vos muscles quadriceps pendant l'exercice. Ne sous-estimez ou surestimez pas l'intensité de la douleur perçue, essayez seulement de l'estimer aussi objectivement et honnêtement que possible.

Les chiffres sur l'échelle vous permettent de quantifier une douleur d'une intensité allant d'« un léger inconfort » (0.5) à « une douleur extrêmement intense – presque insupportable » (10). Lorsque vous ne ressentez aucune douleur au niveau de vos quadriceps, vous devez répondre avec le chiffre zéro (0). Lorsque la douleur devient juste notable, vous devez répondre 0.5. Lorsque vos quadriceps sont extrêmement douloureux et que cela devient quasi-insupportable, vous devez répondre 10. Vous pouvez également répondre avec des chiffres supérieurs à 10. Si la douleur est plus importante que 10, reportez un chiffre représentant la douleur ressentie en relation avec 10. En d'autres termes, si la douleur est deux fois plus importante que 10, répondez 20.

Lorsque vous reportez la douleur, merci de vous concentrer uniquement sur votre avant-bras et non pas sur d'autres sensations (inconfort de la selle par exemple). Il est crucial que votre quantification de la douleur reflète uniquement celle perçue dans vos muscles de l'avant-bras. **N'utilisez pas vos sensations d'effort (difficulté à contrôler vos bras et à respirer) ou de fatigue (incapacité de vos muscles à produire une force).**

Des questions ?

## Annexe 7

### Calcul de « l'individual isotime », un exemple

Imaginons un participant qui a réalisé deux sessions d'endurance de serrage manuel. Lors de la première session il a tenu la poignée pendant 5 minutes. Lors de la seconde, il a tenu la poignée pendant 6 minutes.

Son temps maximal le plus court est donc de 5 minutes. Cette valeur représentera alors le 100% « individual isotime » qui sera utilisé pour récupérer les valeurs d'effort et de douleur sur les deux sessions. Ce temps va être divisé afin d'obtenir 4 points de mesure au final. Un point à 0% du temps, donc la première mesure effectuée, un point à 33% du temps et enfin un point à 66% du temps. Ainsi, 33% de l'individual isotime est donc 1,65 minutes et 66% est 3,3 minutes. Cependant, nous mesurons la perception de l'effort et de la douleur toutes les 30 secondes. Nous récupérons donc la mesure la plus proche des points ciblés, ici 1,5 minutes et 3,5 minutes. Pour chaque session, le moment de la mesure est donc la même, et cela même si dans la seconde session il a tenu plus longtemps.

*Annexe 8.* Echelle d'autocontrôle trait (Tangney et al., 2004)

|    |   | <b>Pas du tout</b> | <b>Un peu</b> | <b>Moyennement</b> | <b>Beaucoup</b> | <b>Totalement</b> |
|----|---|--------------------|---------------|--------------------|-----------------|-------------------|
| 1  | Je suis bon(ne) pour résister à la tentation  | 1                  | 2             | 3                  | 4               | 5                 |
| 2  | J'ai du mal à arrêter mes mauvaises habitudes   | 1                  | 2             | 3                  | 4               | 5                 |
| 3  | Je suis fainéant(e)   | 1                  | 2             | 3                  | 4               | 5                 |
| 4  | Je dis des choses inappropriées   | 1                  | 2             | 3                  | 4               | 5                 |
| 5  | Je fais certaines choses qui sont mauvaises pour moi si elles sont amusantes            | 1                  | 2             | 3                  | 4               | 5                 |
| 6  | Je refuse les choses qui sont mauvaises pour moi  | 1                  | 2             | 3                  | 4               | 5                 |
| 7  | J'aimerais avoir plus d'autodiscipline  | 1                  | 2             | 3                  | 4               | 5                 |
| 8  | Les gens disent que j'ai une discipline de fer  | 1                  | 2             | 3                  | 4               | 5                 |
| 9  | Plaisir et amusement m'empêchent parfois de faire mon travail                           | 1                  | 2             | 3                  | 4               | 5                 |
| 10 | J'ai du mal à me concentrer   | 1                  | 2             | 3                  | 4               | 5                 |
| 11 | Je suis capable de travailler efficacement sur des projets à long termes                | 1                  | 2             | 3                  | 4               | 5                 |
| 12 | Parfois je ne peux pas me retenir de faire quelque chose, même si je sais que c'est mal | 1                  | 2             | 3                  | 4               | 5                 |
| 13 | J'agis souvent sans avoir réfléchi à toutes les alternatives                            | 1                  | 2             | 3                  | 4               | 5                 |

*Annexe 9.* Echelle de croyance en l'autocontrôle (Job et al., 2010)

|  | Pas du tout d' accord         | Plutôt pas d' accord          | Un peu pas d' accord          | Un peu d' accord              | Plutôt d' accord              | Tout à fait d' accord         |
|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1. Une activité mentale ardue épuise vos ressources, que vous avez besoin de récupérer ensuite (e.g. en faisant des pauses, en ne faisant rien, en regardant la télévision, en prenant une collation).           | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> |
| 2. Lorsque les situations qui vous demandent de résister aux tentations sont trop nombreuses, il devient de plus en plus difficile de résister aux tentations.   | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> |
| 3. Après une activité mentale ardue, votre énergie est épuisée et vous devez vous reposer pour refaire le plein.   | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> |
| 4. Résister aux tentations vous fait vous sentir plus vulnérable à de prochaines tentations.   | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> |
| 5. Quand vous avez travaillé sur une tâche mentale ardue, vous vous sentez plein(e) d'énergie et vous êtes capable de démarrer immédiatement une autre activité exigeante.                                       | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> |
| 6. Si vous venez juste de résister à une forte tentation, vous vous sentez plus fort(e) et vous pouvez résister à d'autres tentations  | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> |
| 7. Votre endurance mentale se régénère toute seule. Même après une activité mentale ardue, vous pouvez continuer à en faire davantage.   | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> |
| 8. C'est particulièrement difficile de résister à une tentation après avoir résisté à une autre tentation juste avant.   | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> |
| 9. Lorsque vous avez réalisé une activité mentale ardue, vous ne pouvez pas démarrer une autre activité immédiatement avec la même concentration parce que vous devez récupérer à nouveau votre énergie mentale. | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> |
| 10. Résister à des tentations active votre volonté et vous devenez encore meilleur(e) pour faire face à de nouvelles tentations.   | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> |
| 11. Après une activité mentale ardue, vous vous sentez plein(e) d'énergie pour de nouvelles activités exigeantes.  | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> |
| 12. Votre capacité à résister à des tentations n'est pas limitée. Même après que vous ayez résisté à une forte tentation, vous pouvez ensuite vous contrôler juste après.  | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> |

*Annexe 10.* Echelle de sensibilité à l'épuisement du soi (Salmon et al., 2014)

|  | Pas du tout d'accord          | Plutôt pas d'accord           | Un peu pas d'accord           | Ni en accord, ni en désaccord | Un peu d'accord               | Plutôt d'accord               | Tout à fait d'accord          |
|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1. Quand je suis fatigué(e), je ne sais pas dire non.  | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> | 7<br><input type="checkbox"/> |
| 2. Après avoir travaillé très durement sur quelque chose, j'ai des difficultés pour recharger mes batteries afin de m'engager dans une nouvelle tâche.   | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> | 7<br><input type="checkbox"/> |
| 3. Je suis facilement fatigué(e) mentalement.  | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> | 7<br><input type="checkbox"/> |
| 4. Quand je suis fatigué(e) mentalement, je suis facilement tenté(e) à faire des choses qui ne sont pas bonnes pour moi.   | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> | 7<br><input type="checkbox"/> |
| 5. Après avoir pris plusieurs décisions difficiles, je peux vraiment être mentalement « vidé(e) ».   | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> | 7<br><input type="checkbox"/> |
| 6. Après avoir dépensé beaucoup d'effort mental, j'ai besoin de me reposer avant de pouvoir m'engager dans une autre tâche compliquée.   | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> | 7<br><input type="checkbox"/> |
| 7. Il m'est difficile de persévérer lorsque je suis engagé(e) dans une tâche difficile.  | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> | 7<br><input type="checkbox"/> |
| 8. Quand je suis fatigué(e), j'ai du mal à faire les choses qui doivent être faites, plutôt que de faire quelque chose de divertissant (e.g., étudier plutôt que de regarder la TV).             | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> | 7<br><input type="checkbox"/> |
| 9. Je ne peux pas prendre de bonne décision lorsque je suis stressé(e).  | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> | 7<br><input type="checkbox"/> |
| 10. Quand je suis fatigué(e), je trouve difficile de réprimer mes émotions lorsque c'est nécessaire (par exemple : ne pas me disputer avec quelqu'un même si je suis en colère contre lui/elle). | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> | 7<br><input type="checkbox"/> |
| 11. Je trouve qu'il est difficile de focaliser mon attention après avoir dépensé beaucoup d'effort mental.   | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> | 7<br><input type="checkbox"/> |
| 12. Quand je suis fatigué(e), j'ai des difficultés à me concentrer.  | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> | 7<br><input type="checkbox"/> |
| 13. A la fin d'une journée de travail, j'ai souvent des difficultés à rester concentré(e).   | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> | 7<br><input type="checkbox"/> |
| 14. Quand je suis fatigué(e), j'ai parfois des difficultés à être amical(e) et poli(e).  | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> | 7<br><input type="checkbox"/> |
| 15. Quand je suis fatigué(e), je suis tenté(e) d'acheter quelque chose que j'aime, même si c'est cher.   | 1<br><input type="checkbox"/> | 2<br><input type="checkbox"/> | 3<br><input type="checkbox"/> | 4<br><input type="checkbox"/> | 5<br><input type="checkbox"/> | 6<br><input type="checkbox"/> | 7<br><input type="checkbox"/> |

## Annexe 11

Tests de Mauchly des résultats présentés dans les études 1 et 3. Seuls les résultats significatifs sont présentés.

### **1. Etude 1**

#### **1.1. Contraction maximale volontaire**

Le test de Mauchly montre que les données de cette analyse violent l'assomption de sphéricité :  $\chi^2 (2) = 14.70, p < .001$ .

#### **1.2. Fatigue perçue**

Le test de sphéricité de Mauchly indique une violation de l'assomption de sphéricité pour l'effet du moment de la mesure sur la fatigue perçue :  $\chi^2 (2) = 11.75, p = .003$ .

#### **1.3. Motivation à réaliser la tâche mentale**

Le test de Mauchly indique une violation de la sphéricité pour l'effet du moment :  $\chi^2 (2) = 6.47, p = .039$ .

#### **1.4. Perceptions de l'effort et de la douleur musculaire pendant la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement**

Le test de Mauchly indique une violation de la sphéricité pour l'effet principal de l'individual isotime sur la perception de l'effort et de la douleur :  $\chi^2 (5) = 93.22, p < .001$  et  $\chi^2 (5) = 119.27, p < .001$ , respectivement.

### **2. Etude 3**

#### **2.1. Motivation à réaliser la tâche mentale**

Le test de Mauchly indique une violation de la sphéricité sur l'effet d'interaction entre la session et le moment de la mesure :  $\chi^2 (2) = 6.46, p = .040$ .

## **2.2. Perception de l'effort lors de la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement**

Le test de Mauchly indique une violation de la sphéricité pour l'effet principal de la session et de l'individual isotime sur la perception de l'effort dans les deux cas :  $\chi^2 (2) = 107.41, p < .001$  et  $\chi^2 (2) = 112.43, p < .001$ , respectivement.

## **2.3. Perception de la douleur musculaire lors de la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement**

Le test de Mauchly indique une violation de la sphéricité pour l'effet principal de la session et de l'individual isotime sur la perception de la douleur dans les deux cas :  $\chi^2 (2) = 108.40, p < .001$  et  $\chi^2 (2) = 112.43$ , respectivement.

## Annexe 12

Les résultats présentés ici sont les mêmes que ceux présentés dans les études 1 et 3 mais en incluant la totalité des participants. Les ANOVA à mesure répétées sont présentées avec la correction de Huynh-Feldt lorsque cela est nécessaire.

### **1. Etude 1**

#### **1.1. Effet d'épuisement du soi**

Une ANOVA avec groupe (expérimental vs contrôle) comme variable inter-sujets et la session (première vs seconde) comme variable intra-sujets a été réalisée sur le temps de maintien à la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement. L'interaction entre les deux variables sur le temps de maintien ne s'est pas révélée significative :  $F(1, 166) = 0.40, p = .527$ . L'effet principal du groupe et de la session ne sont pas significatifs :  $F(1, 166) = 0.00, p = .985$  et  $F(1, 116) = 0.60, p = .442$ .

#### **1.2. Contraction maximale volontaire**

Nous avons mesuré la CMV des participants au début de chaque session afin de nous assurer qu'ils commençaient bien les deux sessions dans les deux groupes dans les mêmes conditions de force. Nous avons réalisé une ANOVA avec le groupe (épuisement vs contrôle) comme variable inter-sujets et la session (première vs seconde) comme variable intra-sujets sur la force de contraction maximale produite. L'interaction n'atteint pas le seuil de significativité :  $F(1, 166) = 0.26, p = .611$ , ni l'effet principal du groupe ou de la session :  $F(1, 166) = 0.38, p = .541$ , et  $F(1, 116) = 1.81, p = .181$ , respectivement.

Nous avons aussi mesuré la CMV avant et après la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement afin de s'assurer que les participants avaient bien suivi les consignes pendant la tâche et étaient allés au maximum de leurs capacités. Nous avons réalisé une ANOVA avec le moment (avant la tâche mentale vs après la tâche mentale vs après la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement) comme variable intra-sujets et le groupe (épuisement vs contrôle) comme variable inter-sujets. Ni l'interaction, ni l'effet principal du groupe n'ont atteint le seuil de significativité :  $F(2, 232) = 0.61, p = .544$ , et  $F(1, 116) = 0.48, p = .491$ , respectivement. En

revanche, l'effet principal du moment atteint le seuil de significativité même après la correction de Huynh-Feldt :  $F(1.69, 196.28) = 586.68, p < .001$ .

### **1.3. Variables de contrôle : Capacités utilisées dans la tâche, difficulté, importance et satisfaction**

Les participants indiquent avoir perçu la tâche de Stroop comme plus difficile que la tâche de Lecture :  $t(116) = 6.09, p < .001$ . En revanche la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement n'est pas vue comme plus difficile après avoir fait la tâche de Stroop qu'après avoir fait la tâche de Lecture :  $t(116) = 0.62, p = .537$ .

Les participants rapportent avoir utilisé plus de capacités mentales pour réaliser la tâche de Stroop que la tâche de Lecture :  $t(116) = 3.71, p < .001$ . En revanche, ils ne rapportent pas avoir utilisé plus de capacités physiques pour réaliser ces deux tâches :  $t(116) = 1.56, p = .122$ .

Les participants ne rapportent pas avoir utilisé plus de capacités mentales ou de capacités physiques pour réaliser la tâche physique après avoir fait la tâche de Stroop ou la tâche de Lecture :  $t(116) = 1.43, p = .156$ , et  $t(116) = 1.13, p = .260$ , respectivement.

Il n'y a pas de différence dans l'importance à réaliser la tâche rapportée par les deux groupes :  $t(166) = 1.83, p = .069$ . Ils n'expriment pas non plus de différence dans la satisfaction perçue relative à la performance de la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement,  $t(116) = 0.79, p = .430$ .

### **1.4. L'ennui**

Les participants rapportent s'être plus ennuyés lors de la tâche de Lecture que lors de la tâche de Stroop :  $t(116) = 3.21, p = .002$ .

### **1.5. La fatigue**

Nous avons réalisé une ANOVA avec le moment (avant la tâche mentale vs après la tâche mentale vs après la tâche physique) comme variable intra-sujets et le groupe (épuisement vs contrôle) comme variable inter-sujets sur la fatigue ressentie. L'effet d'interaction est marginal, mais l'effet principal du moment est significatif :  $F(2, 232) = 2.80, p = .063$ , et  $F(1.80, 208.27) = 41.02, p < .001$ , respectivement. En revanche l'effet principal du groupe n'a pas atteint le seuil de significativité :  $F(1, 116) = 0.36, p = .548$ .

### **1.6. La motivation**

La même ANOVA que celle pour la fatigue a été réalisée sur la motivation à réaliser la tâche mentale. Ni l'interaction, ni l'effet du groupe ne sont significatifs :  $F(2, 232) = 2.59, p = .077$  et  $F(1, 116) = 2.35, p = .128$ , respectivement. En revanche l'effet principal du moment est significatif :  $F(1.85, 215.05) = 70.64, p < .001$ .

Une ANOVA avec le moment (avant la tâche physique vs après la tâche physique) comme variable intra-sujets et le groupe (épuisement vs contrôle) comme variable inter-sujets a été réalisée sur la motivation à faire la tâche physique. L'effet d'interaction est significatif :  $F(1, 116) = 9.03, p = .003$ .

La même ANOVA que pour la motivation à faire la tâche physique a été réalisée sur la motivation à faire une tâche plus agréable. Ni l'interaction, ni l'effet principal du moment, ni l'effet principal du groupe ne se sont avérés significatifs :  $F(1, 116) = 0.14, p = .705$ ,  $F(1, 116) = 0.43, p = .516$  et  $F(1, 116) = 0.53, p = .469$ , respectivement.

### **1.7. Efficacité personnelle et perception de performance**

Les deux groupes ne semblent pas être différents pour ce qui est de l'efficacité personnelle à réaliser la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement ou de la perception de performance après avoir réalisé cette même tâche :  $t(116) = 0.81, p = .420$  et  $t(116) = 0.01, p = .991$ , respectivement.

### **1.8. Perception de l'effort et de la douleur dans la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement**

Nous avons conduit une ANOVA avec le groupe (épuisement vs contrôle) comme variable inter-sujets et le « individual isotime » (0% vs 33% vs 66% vs 100%) comme variable intra-sujets sur la perception de l'effort pendant la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement. Ni l'effet d'interaction, ni l'effet principal du groupe ne sont significatifs :  $F(3, 336) = 1.18, p = .316$  et  $F(1, 112) = 0.93, p = .337$ , respectivement. En revanche l'effet de l'individual isotime est significatif :  $F(1.84, 206.41) = 734.43, p < .001$ .

Nous avons conduit la même ANOVA sur la perception de la douleur au cours de la tâche d'endurance. L'effet d'interaction est significatif :  $F(1.66, 185.67) = 4.02, p = .026$ .

## 2. Etude 3

### 2.1. Epuisement du soi

Nous avons réalisé des comparaisons planifiées sur le temps de maintien à la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement en fonction de la session. Dans la première comparaison, nous avons mis en évidence que les participants tenaient moins longtemps la poignée après la session Stroop qu'après la session Ligne de base et la session Vidéo,  $t(106) = -2.72, p = .008$ . La seconde comparaison n'a pas permis de mettre en évidence de différence entre la session Ligne de base et la session Vidéo,  $t(106) = 0.12, p = .906$ .

### 2.2. L'épuisement au cours de la tâche de Stroop

Nous avons réalisé une ANOVA avec le temps passé sur la tâche de Stroop (Période 1 vs 2 vs 3 vs 4) comme variable intra-sujets sur le score d'efficacité inverse. Le score d'efficacité inverse augmentait bien avec le temps passé sur la tâche :  $F(2.38, 128.29) = 10.9, p < .001$ .

### 2.3. Contraction maximale volontaire

Nous avons réalisé une ANOVA avec la session (Session Ligne de base vs Session Vidéo vs Session Stroop) comme variable intra-sujets sur la force maximale produite lors des CMV. Le test s'est avéré significatif :  $F(2, 108) = 6.23, p = .003$ .

Nous avons réalisé une ANOVA avec la session (Ligne de base vs Vidéo vs Stroop) et le moment (avant vs après) comme variables intra-sujets sur la force maximale produite. L'interaction ne s'est pas avérée significative :  $F(2, 108) = 0.13, p = .880$ . Cependant, l'effet principal de la session a atteint le seuil de significativité :  $F(2, 108) = 3.92, p = .023$ . Nous avons observé un effet principal du moment,  $F(1, 54) = 407.38, p < .001$ .

### 2.4. Variables contrôle : difficulté perçue, capacités utilisées, performance dans la tâche vidéo, performances prévues, satisfaction

Les participants ont perçu la tâche de Stroop plus difficile que la tâche Vidéo :  $t(54) = -16.04, p < .001$ . En revanche, ils n'ont pas perçu de différence dans la difficulté de la tâche physique après avoir réalisé la tâche mentale, quelle qu'elle soit :  $t(54) = -0.92, p = .363$ .

Les participants ont rapporté avoir utilisé plus de capacités mentales pour réaliser la tâche de Stroop que la tâche Vidéo :  $t(54) = -8.17, p < .001$ . En revanche ils n'ont pas rapporté de différence dans l'utilisation des capacités physiques lors de la réalisation de ces mêmes tâches :  $t(54) = -1.97, p = .054$ .

Les participants n'ont pas rapporté avoir utilisé plus de capacités mentales ou physiques pour réaliser la tâche physique après avoir fait l'une des deux tâches mentales :  $t(54) = 1.85, p = .070$ , et  $t(54) = 0.27, p = .785$ , respectivement.

Les participants n'ont pas rapporté de différence dans l'importance à réaliser la tâche physique après avoir réalisé l'une des deux tâches mentales  $t(54) = 0.74, p = .461$ . Ils ne rapportent pas non plus de différence dans la satisfaction à la performance qu'ils ont réalisé dans la tâche physique après avoir réalisé les tâches mentales :  $t(54) = 1.22, p = .227$ .

A la fin de la session Vidéo, les participants devaient répondre à des questions portant sur la vidéo qu'ils avaient vu, afin de s'assurer qu'ils avaient bien prêté attention à celle-ci. Nous avons donc réalisé un test  $t$  pour un seul échantillon. Les résultats ont indiqué qu'ils avaient mieux répondu que le hasard (50%) :  $t(54) = 20.4, p < .001$ .

## **2.5. Fatigue ressentie**

Nous avons conduit une ANOVA avec la session (Vidéo vs Stroop) et le moment (avant la tâche mentale vs après la tâche mentale vs après la tâche physique) comme variable intra-sujets sur la fatigue ressentie par les participants. L'interaction s'est avérée significative :  $F(2, 108) = 9.56, p < .001$ .

## **2.6. Motivation**

Nous avons réalisé la même ANOVA sur la motivation à faire la tâche mentale que pour la fatigue. L'interaction s'est révélée significative :  $F(1.82, 98.04) = 27.9, p < .001$ .

Nous avons réalisé une ANOVA avec la session (Stroop vs Vidéo) et le moment (avant la tâche physique vs après) comme variable intra-sujets, sur la motivation à réaliser la tâche physique. Ni l'interaction, ni l'effet principal de la session ne se sont avérés significatifs :  $F(1, 54) = 0.82, p = .371$  et  $F(1, 54) = 0.08, p = .779$ , respectivement. En revanche l'effet du moment était significatif  $F(1, 54) = 175.2, p < .001$ .

Nous avons réalisé la même ANOVA que pour la motivation à faire la tâche physique, mais cette fois ci sur la motivation à faire une tâche plus agréable. Ni l'interaction, ni les effets principaux de la session ou du moment ne se sont avérés significatifs :  $F(1, 54) = 0.65, p = .424$ ,  $F(1, 54) = 0.02, p = .897$ , et  $F(1, 54) = 0.42, p = .521$ , respectivement.

## **2.7. Ennui à faire la tâche mentale**

Nous avons réalisé un  $t$  de Student sur l'ennui ressenti lors des deux tâches mentales :  $t(54) = 7.57, p < .001$ .

## **2.8. Efficacité personnelle à réaliser la tâche physique et perception de performance de la tâche physique**

L'efficacité personnelle avant de réaliser la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement et la perception de la performance après avoir réalisé la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement ne sont pas avérées différentes entre les sessions Vidéo et Stroop :  $t(54) = 1.41, p = .165$  et  $t(54) = 1.22, p = .227$ , respectivement.

## **2.9. Perception de l'effort et de la douleur pendant la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement**

Nous avons réalisé une ANOVA avec la session (Ligne de base vs Vidéo vs Stroop) et l'individual isotime (0% vs 33% vs 66% vs 100%) comme variables intra-sujets sur la perception de l'effort et la perception de la douleur lors de la tâche de serrage manuel jusqu'à épuisement. Pour la perception de l'effort, l'interaction s'est révélée significative :  $F(4.33, 211.94) = 4.10, p = .002$ . Pour la perception de la douleur, aucune interaction entre la session et l'individual isotime n'a été observée :  $F(4.42, 216.34) = 1.94, p = .097$ . Nous n'avons pas non plus observé d'effet de la session :  $F(2, 98) = 1.74, p = .181$ . Enfin, nous avons observé un effet de l'individual isotime :  $F(1.52, 74.54) = 277.41, p < .001$ .

### Annexe 13

Exemple de questions posées après la tâche vidéo afin de s'assurer que le participant a bien regardé le film.

Veillez répondre aux questions suivantes portant sur la vidéo que vous venez de regarder en entourant la réponse. Si vous ne vous souvenez **vraiment** plus, répondez « ne sait pas ».

Sur la vidéo, avez-vous vu des renards blancs ?

Oui Non Ne sait pas

Sur la vidéo, avez-vous vu des biches ?

Oui Non Ne sait pas

Sur la vidéo, avez-vous vu des mouettes ?

Oui Non Ne sait pas

Sur la vidéo, avez-vous vu des ratons laveurs ?

Oui Non Ne sait pas

Sur la vidéo, avez-vous vu des poissons rouges ?

Oui Non Ne sait pas

Sur la vidéo, avez-vous vu des caribous ?

Oui Non Ne sait pas

Sur la vidéo, avez-vous vu des ours bruns ?

Oui Non Ne sait pas

Sur la vidéo, avez-vous vu des palmiers ?

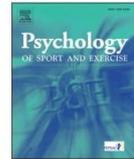
Oui Non Ne sait pas

Sur la vidéo, avez-vous vu des kangourous ?

Oui Non Ne sait pas

Sur la vidéo, avez-vous vu des cigognes ?

Oui Non Ne sait pas



## No ego-depletion effect without a good control task

Thomas Mangin<sup>a,\*</sup>, Nathalie André<sup>a</sup>, Abdelrhani Benraiss<sup>a</sup>, Benjamin Pageaux<sup>b,c</sup>, Michel Audiffren<sup>a</sup>

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

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

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

### ARTICLE INFO

**Keywords:**  
Boredom  
Cognitive fatigue  
Effortful control  
Ego depletion  
Motivation  
Sequential protocol

### ABSTRACT

The ego-depletion effect refers to a temporary failure of self-control exertion after first performing an effortful task. This phenomenon has experienced a replication crisis in the past few years. In the present series of experiments, we tried to replicate the ego-depletion effect using a 30-min modified Stroop task tapping two executive functions (inhibitory control and cognitive flexibility) as the depleting task. In the first study, we compared the performance of a handgrip endurance task after this depleting task or after a classic control task (i. e., reading color words) and failed to replicate the ego-depletion effect. We showed that the control task induced boredom and subjective fatigue. In a second study, we looked for a better control task and compared the color-word reading task to another possible control task used in the literature (i.e., watching a documentary). Controlling for boredom, subjective fatigue, motivation and affective state, we found that the video task was not boring and did not induce fatigue, drop in motivation or negative affective state, whereas the color-word reading task did. In a third study, we used the video task as the control task and the modified effortful Stroop task used in the first study as the depleting task and succeeded in replicating the ego-depletion effect. This series of experiments illustrates that the choice of an appropriate control task is crucial to observe an ego-depletion effect and that boredom is costly. Consequently, it appears necessary to control for boredom in any future replication study aiming to observe an ego-depletion effect.

### 1. Introduction

Self-control can be viewed as a high-level cognitive function drawing on some limited resources that play a crucial role in daily living (Muraven & Baumeister, 2000). A high capacity in self-control is generally associated with a good integration of individuals into society and a diminished risk of unhealthy and deviant behaviors (Baumeister, 2005; DeWall et al., 2011; Fischer et al., 2012; Muraven et al., 2002; Tangney et al., 2004). In the domain of sport and exercise, self-control plays a crucial role in performance (for reviews, Englert, 2016; Englert, 2017; Englert et al., 2020; for meta-analyses, Giboin & Wolff, 2019; Brown et al., 2020) and in exercise adherence (for reviews, Martin Ginis & Bray, 2010; Hagger et al., 2010a; Buckley et al., 2014).

When the self-control capacity is temporarily weakened by a first effortful task, it is frequent to observe a drop in performance in a subsequent effortful task (Baumeister et al., 1998, 2018). This phenomenon, which is well known as 'ego-depletion effect', is currently challenged

regarding its actual existence (Carter, Kofler, Forster, & McCullough, 2015; Vadillo, 2019), replicability (Hagger et al., 2016; Lurquin et al., 2016; Osgood, 2017; Xu et al., 2014) and theoretical underpinnings (Inzlicht & Schmeichel, 2012; Kurzban et al., 2013). The principal aim of this series of experiments is to replicate the ego-depletion effect by using an adequate experimental protocol that is cohesive with several assumptions of the strength model of self-control (Baumeister et al., 2007, 2018).

This model proposes that self-control depends on limited resources that can be depleted by any act of self-control leading to the ego-depletion effect. The sequential task protocol, elaborated by Baumeister et al. (1998), is commonly used in the laboratory to observe this short-term detrimental effect. In this protocol, a first group of participants carries out an initial effortful task called the depleting task, which is assumed to weaken the capacity to exert self-control. Right after this first task, participants perform a second effortful task called the dependent task, which further weakens the capacity to exert self-control.

\* Corresponding author.

E-mail address: [thomas.mangin@univ-poitiers.fr](mailto:thomas.mangin@univ-poitiers.fr) (T. Mangin).

<https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2021.102033>

Received 15 February 2021; Received in revised form 22 July 2021; Accepted 4 August 2021

Available online 5 August 2021

1469-0292/© 2021 Published by Elsevier Ltd.

A second group of participants carries out the same sequence of tasks except that the first task is replaced with a less-effortful control task. The strength model of self-control predicts that the participants who performed the depleting task perform worse in the subsequent dependent task than the participants who perform the control task first. This drop in performance is proposed to be due to fewer available resources because of the first act of self-control.

Several authors interpret the ego-depletion effect as the result of mental or cognitive fatigue related to the feeling that people may experience after or during prolonged periods of cognitive activity (Inzlicht & Berkman, 2015; André et al., 2019). Throughout the present manuscript, we conceive cognitive fatigue as the weakening of the capacity to exert effortful control over time. Based on the integrative model of André and collaborators (2019), we define effortful control as the capacity of the salience network, which includes the dorsal anterior cingulate cortex and the anterior insula (Seeley et al., 2007), to generate theta rhythmic oscillations in order to help brain regions involved in the ongoing task to filter pertinent information. Finally, we assume that performing a self-control task requires the involvement of mental effort, an energetic mechanism anchored in the salience network and making decision about the need for effortful control according to the costs and benefits associated with the achievement of the task goal (André et al., 2019; Shenhav et al., 2017). In this perspective, cognitive fatigue is viewed as a cost of exerting effortful control (Boksem & Tops, 2008) accompanied by a difficulty to sustain attention and effort to optimize performance over time (Chaudhuri & Behan, 2004).

In accordance with the strength model of self-control (Baumeister et al., 2007), the level of effortful control required by the depleting task is an important determinant of the size of the ego-depletion effect. Numerous depleting tasks have been used in the ego-depletion literature, but some of them seem to be definitely not as effortful as required to deplete participants. For instance, the meta-analysis of Dang (2018) showed that the video viewing task failed to induce a significant ego depletion effect after imputing effect sizes by the trim and fill method. In the same way, replication studies failed to obtain a significant ego depletion effect with the letter-crossing task (Etherton et al., 2018; Hagger et al., 2016; Wimmer et al., 2019; Xu et al., 2014). In contrast, tasks strongly tapping executive functions, such as the Stroop task, seem to be very good candidates to elicit high effortful control costs (André et al., 2019; Hofmann et al., 2012) and induce an ego depletion effect (Dang et al., 2021).

According to the taxonomy of Miyake et al. (2000), core executive functions include inhibitory control, updating of working memory and cognitive flexibility. Thus, the use of tasks well known to require one or more executive functions seems more appropriate to observe an ego-depletion effect. Inhibitory control presents many similarities with the concept of self-control used in social psychology when the latter is more restrictively designated as the ability to follow rules or inhibit immediate desires so as to delay gratification (e.g., Muraven & Baumeister, 2000). Another important commonality between executive functions and self-control is that both these high-level cognitive functions require effortful control (André et al., 2019; Hofmann et al., 2012).

In the present experiment, we made the choice of a modified Stroop task as the depleting task. This task requires inhibiting a pre-potent automatic response in some trials (reading words that are in color) in order to name the color of the ink. In this case, the Stroop task requires the control over a dominant response. In addition, we introduce a possible switch between two response rules at each trial: (1) reading the word or (2) naming the color of the ink. This last methodological add-on makes the task more effortful by increasing the cognitive load and tapping cognitive flexibility. In addition, several authors successfully induced a drop in performance following the completion of a modified Stroop task by comparison to a less effortful cognitive control task (e.g., MacMahon et al., 2019; Pageaux et al., 2014). Moreover, two meta-analyses showed that the Stroop task is effective at inducing an ego depletion effect (Dang, 2018; Hagger et al., 2010). Finally, the Stroop

task has a moderate replication rate of 41%, higher than for the e-letter task (33.3%) or the multi-source interference task (38.5%), but lower than the emotion suppression task (54.1%) (Wolff et al., 2018). In the same way, we chose the handgrip endurance task as dependent task since this task have been used in numerous studies and that meta-analyses find a medium to large effect associated with this dependent task (Giboin & Wolff, 2019; Hagger et al., 2010).

A second theoretical determinant of the size of the ego depletion effect is the duration of the depleting task (Hagger et al., 2010). According to the strength model of self-control, it can be assumed that the longer the duration of the depleting task is, the higher the amount of depleted resources and larger the size of the ego-depletion effect are. The short duration of the depleting task, which is commonly used in the ego-depletion experiments, has probably been part of the replication crisis. Hagger et al. (2010) mentioned in their meta-analysis that many of the depleting tasks used were relatively brief. Most of the replication studies used depleting tasks that lasted less than 9 min with an average of 6 min. In a sport context, a recent meta-analysis pointed out that the mean task duration for the depleting task in ego-depletion paradigm with physical dependent task is  $5.37 \pm 3$  min (Giboin & Wolff, 2019). To be depleted, healthy participants have to exert their self-control long enough (e.g., Blain et al., 2016). Cognitive fatigue, also known as mental fatigue, which can be indexed by a decrement in performance in a cognitive or physical task, generally occurs after a long and continuous effortful cognitive activity (e.g., Guo et al., 2018; Pageaux & Lepers, 2018). In this respect, Wolff et al. (2019) reported that until 16 min, the effect of the task on fatigue was nonsignificant. In a systematic review, Van Cutsem et al., 2017 proposed that cognitive tasks lasting more than 30 min consistently and negatively affected performance of a subsequent physical task, except for maximal and supramaximal exercises (Pageaux & Lepers, 2018). However, two meta-analyses recently showed that the duration of the depleting task does not seem to be a crucial parameter in the occurrence of the ego depletion and/or cognitive fatigue effect (Brown et al., 2020; Giboin & Wolff, 2019). In spite of the disturbing results of these two meta-analyses, we made the choice to use a depleting task with a long duration (i.e., 30 min), which is longer than most of the task durations generally used in ego-depletion studies. Our methodological choice was guided, on the one hand, by the theory (i.e., longer the depleting task is, higher the cognitive fatigue should be) and, on the other hand, by two sets of data. First, numerous vigilance studies examining the effect of cognitive fatigue as a function of time-on-task reported that performance deteriorates over time in long tasks requiring sustained attention (e.g., Boksem et al., 2005; Lorist, 2008). Second, a recent study manipulating the duration of the depleting task (4, 8 and 16 min) showed that spending longer time on the initial self-control task led to greater detrimental effects on a subsequent physical task (Boat et al., 2020).

A third determinant of the effect size of ego depletion could be trait self-control. Trait self-control refers to the self's capacity to exert control over thoughts, emotions, and behaviors (Baumeister et al., 2007) and is linked to many positive adaptive behaviors such as weight control, healthy eating, as well as school and work performance (de Ridder et al., 2012). Importantly, trait self-control is also a crucial aspect of participation in physical activity (Buckley et al., 2014), adherence to exercise (Gerdtham et al., 2020) and sport and exercise performance (Englert, 2016). Specifically, self-control in sport and exercise has been examined through trait self-control or the dispositional tendencies displayed by people who report to have higher or lower self-control or implicit beliefs that self-control is limited or unlimited. Overall, it has been shown that high trait self-control individuals are more physically active (Allom et al., 2016), invest more time in their training regimens (Toering & Jordet, 2015) and perform better under pressure (Landman et al., 2015). In the present study, we make the hypothesis that trait self-control could moderate gradients of state self-control, such as self-control deployment. For instance, high trait self-control individuals could be less impacted by situational high demands in self-control than low trait self-control

individuals (Lindner et al., 2018; Muraven et al., 2005).

The mechanism underpinning the ego-depletion effect is still in debate. According to the strength model of self-control, the ego-depletion effect would be caused by the depletion of brain resources (Baumeister et al., 1998, 2007). However, the exact nature of these resources has not yet been clearly established. Other models, such as the process model of self-control (Inzlicht & Schmeichel, 2012) assume that effort is aversive and that the exertion of effortful control leads to a subsequent reorientation of attention and motivation toward more pleasant cues and less effortful activities. This model predicts that after the depleting task, participants will be less motivated to perform another self-control task or the same depleting task another time. Furthermore, in studies that already explore this variable, the motivation to perform the mental task has been shown to be a moderator of the ego-depletion effect (Hagger et al., 2010; Muraven & Slessareva, 2003). For all these reasons, we decided to measure the motivation to perform each task throughout the sequential task protocol in order to control for the role of motivation in the drop of performance after the depleting task.

In the same way, recent works suggest that boredom could play a determinant role in the occurrence of the ego depletion effect (Wolff & Martarelli, 2020; Wolff, Bieleke, Stähler, & Schüller, 2021). According to Eastwood et al. (2012), boredom can be defined as an aversive state that occurs when people want but are unable to engage in a satisfying activity. For instance, a typical vigilance task is long and monotonous and requires participants to continuously monitor a display for detecting rare signals. Maintaining a good level of performance in such a task is generally perceived as highly boring. In the sport domain, athletes often perceive the repetition of sequences of the same training exercises as boring. In their Meaning and Attentional Components (MAC) model of boredom, Westgate and Wilson (2018) proposed that the state of boredom provides people with information about their current attentional and meaning states which they then use to form judgments and make decisions about what to do and how much effort to engage in the ongoing activity. In that perspective, boredom present several commonalities with cognitive fatigue: (1) they are associated with negative mood states; (2) they inform our brain about the state of the system induced by the ongoing activity; (3) they depend on the duration and the cognitive load of the task; (4) they participate to effort-based decision-making. More interestingly, Wolff and Martarelli (2020) proposed that boredom might affect results of ego depletion research by placing an unwanted demand on effortful control deployed by the participant and signaling that he/she should explore behavioral alternatives. Considering these recent advances on the possible mediating influence of boredom in the ego-depletion effect, we decided to control the boredom induced by the depleting and the control tasks.

The main purpose of this article is to replicate the ego-depletion effect using a long depleting task (30 min) strongly tapping executive functions. During a long task, time-on-task may change the inhibitory control demand in the depleting task because of learning, and then the characteristics of the task (Wolff & Martarelli, 2020). However, a modification of task parameters, such as an increase of the frequency of incongruent stimuli (Dulaney & Rogers, 1994) or the addition of a switch between two rules of action according to the preparatory signal, can limit learning effects. In this case, the demand of inhibitory control should remain high throughout the Stroop task. First, we hypothesize that performance of the dependent task (i.e., a handgrip endurance task) will be worse after the depleting task (i.e., a modified Stroop task tapping inhibitory control and cognitive flexibility) rather than after the control task (i.e., a color-word reading task). Second, we hypothesize that the depleting task will induce a decrease in motivation and an increase in subjective fatigue in comparison to the control task. As suggested by the literature on ego-depletion and cognitive fatigue, prior mental exertion impacts negatively the perception of effort and pain in a subsequent task, we also monitored these two perceptions during the handgrip endurance task (Boat & Taylor, 2017; Schmeichel & Vohs, 2009; Vohs et al., 2008).

## 2. Experiment 1

### 2.1. Methods

#### 2.1.1. Participants

One hundred eighteen students (60 females, Mean age = 20.42 years, SD = 2.87) in psychology and sport sciences from the University of Poitiers took part in this experiment in exchange for course credit. The sample size was determined using G\*Power 3.1.9.2 (Faul et al., 2007; Universität Kiel, Germany) with  $d = 0.30$ ,  $\alpha = .05$ , and power = .80. Because the correlation among repeated measures was unknown at this time,  $r = .50$  was retained. We chose a  $d$ -value of 0.30 because we thought that the overall effect size (i.e.,  $d = 0.62$ ) calculated in the meta-analyses of Hagger et al., (2010) was overestimated. More specifically, the effect size for the Stroop task was  $d = 0.40$  in the meta-analysis of Hagger et al., (2010), and  $g = 0.44$  in the meta-analysis of Dang (2018). More recent meta-analyses found an effect size ranging between 0.29 and 0.50 (Brown et al., 2020; Giboin & Wolff, 2019; Holgado, Sanabria, Perales, & Vadillo, 2020; McMorris, Barwood, Hale, Dicks, & Corbett, 2018). We made this choice to increase the likelihood to observe the effect. According to G\*Power, 90 participants were sufficient to detect the effect. Using random.org, participants were randomly assigned to the experimental and control groups.

The participants signed an informed consent form after they had received a verbal explanation about the procedure. The local ethics committee approved the procedures of the three experiments presented in this manuscript (n° CER2018-09-04).

#### 2.1.2. Procedure

This experiment included two sessions spaced by one to four weeks. At the beginning of the first session, participants completed a socio-demographic questionnaire. During each session, they also had to answer some questions about substances use (cigarettes, caffeine, drugs, and sleeping pills), physical activities practiced, possible traumatic events experienced within few hours before the session, and the amount of sleep the night preceding the session. If one undesirable event was detected (e.g., a sleepless night just before the session), the session was postponed when possible, otherwise the participant was excluded from the analysis. During the first session (Fig. 1A), participants performed a handgrip endurance task and then 48 trials of a cognitive task (i.e., the incongruent Stroop task or color-word reading task) as a training. During the second session (Fig. 1B), participants first performed the cognitive task (the same as the first session), lasting approximately 30 min, and then the handgrip endurance task. The cognitive task differed in the experimental and the control groups: the experimental group performed an effortful depleting task and the control group a less-effortful control task. Before and after each task, participants had to answer questions displayed on a screen using a visual analog scale (VAS) ranging from 0% to 100%. At the beginning of each session, participants indicated their motivation to perform the first task (i.e., the handgrip endurance task for the first session and the mental task for the second) and their level of fatigue. After the tasks, they reported their motivation to perform the task again, to accomplish another more pleasant task and to perform the handgrip endurance task (only for the second session). They also had to assess the difficulty of the task, their feelings of boredom during the task, the amount of mental resources they used during the task and their level of fatigue. Wewers and Lowe (1990) validated this type of VAS and Brown and Bray (2017) used similar VAS to measure mental fatigue and motivation to perform the task in a similar experiment. At the end of the 2nd session, trait self-control was measured with the Brief Self-Control Scale (Tangney et al., 2004). We decided to assess this personality variable because individuals with a low self-control trait tend to show a larger ego-depletion effect than individuals with a high self-control trait (DeWall, Baumeister, Stillman, & Gailliot, 2007). Answering the questions and performing the handgrip maximal voluntary contraction (MVC) task after the first task did not

## A) First session



## B) Second session

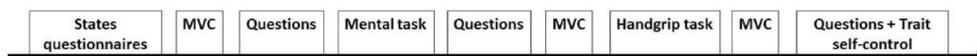


Fig. 1. Experimental design. A, time course of the first session; B, time course of the second session. MVC: Measure of maximal voluntary contraction in the handgrip task.

exceed 7 min ( $M = 4.23$  min,  $SD = 0.65$  min).

## 2.1.3. Experimental set-up of handgrip tasks

Isometric handgrip force of the dominant hand was measured using a hand dynamometer (TSD121C, BIOPAC). During the MVC and the endurance task described below, the participant seated on the same chair with an arm support imposing an elbow angle of  $\sim 90$  deg. During each contraction, participants were asked to maintain their forearm in an anatomical neutral position. The force signal was recorded with the data acquisition unit MPI160WSW and AcqKnowledge 4.2 software (BIOPAC Systems Inc., Goleta, USA). We digitized the force signal online at a sample frequency of 1000 Hz using a computer and stored it for off-line analysis.

## 2.1.4. Handgrip MVC task

In session 1, MVC was measured before and immediately at exhaustion of the endurance task. In session 2, including either the depleting or the control task, MVC was measured before and after the cognitive task, as well as immediately at exhaustion of the endurance task. In the MVC task, participants were asked to squeeze the dynamometer with their dominant hand as strong as possible for 3 s. To ensure obtaining participants' true maximal force, the measurement of MVC was repeated, with 30 s rest between contractions, until the force does not increase in comparison to the previous contraction peak force. The value of the first MVC in session 1 was used as the reference for determining the force feedback used in the subsequent endurance task in both sessions. The comparison of MVC peak force before the endurance task and immediately at exhaustion of the same task allowed us to assess the extent of muscle fatigue induced by the endurance task.

## 2.1.5. Handgrip endurance task

The endurance task was used to investigate the ego-depletion effect. To do so, we asked the participants to maintain a submaximal isometric handgrip contraction until exhaustion. This time-to-exhaustion test has been used in the ego-depletion and mental fatigue literature to investigate the effects of prior mental exertion on subsequent physical performance (Brown & Bray, 2019; Pageaux & Lepers, 2018). In our task, participants had to maintain 13% of their MVC peak force until exhaustion. In that way, the relative submaximal force was identical between sessions for the same participant.

A force feedback was provided to the participant during the whole endurance task. A circular gauge was displayed on a computer screen placed in front of him/her (see Fig. 2). The gauge was calibrated in such a way that the perimeter of the gauge (i.e., 360 deg.) corresponds to 100% MVC of the participant. A pointer moved along the calibrated circular scale according to the force produced by the participant. A green arc ranging from 12 to 14% of his/her MVC peak force, which is named

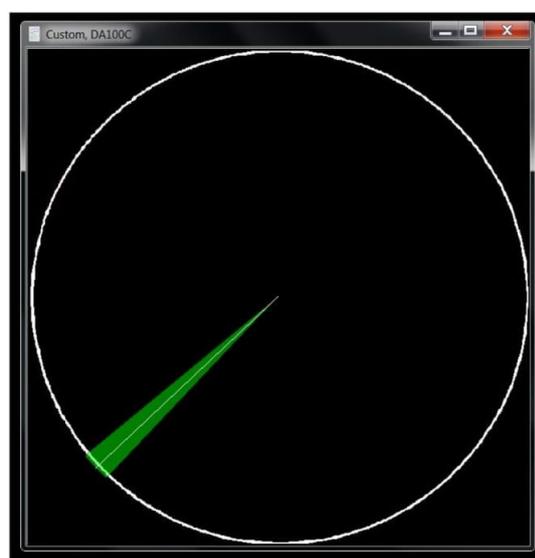


Fig. 2. Force gauge presented on the screen in front of the participant. The perimeter of the circular dial represents 100% of the participant's maximal voluntary contraction (MVC) and the green arc indicates the target zone (i.e. a range between 12 and 14% of MVC) in which the participant has to maintain the gauge indicator throughout the duration of the task. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

'green zone' hereafter, was constantly visible on the gauge. The green zone indicated the target zone in which the participant had to maintain the pointer throughout the duration of the endurance task (see Fig. 2). Exhaustion was defined as the participant not being able to maintain the pointer in the green zone, and staying out the green zone for more than 2 s despite the reminder of the researcher saying "Up". The time-to-exhaustion was determined offline by measuring the duration of the isometric contraction from the onset of the force signal to the exhaustion time as previously defined.

## 2.1.6. Perceptions of effort and muscle pain

During the endurance task, we measured perceptions of effort and muscle pain every 30 s. Perception of effort was measured with the CR100 scale (Borg & Kaijser, 2006), and participants were asked to rate

the “intensity of effort required to squeeze the dynamometer and breathe while staying in the green zone”. Perception of muscle pain was measured with the Cook scale (O’Connor & Cook, 2001), and participants were asked to rate “the intensity of hurt they feel in their forearm muscles while performing the endurance task”. Importantly, participants were asked not using the rating of effort as an expression of pain and vice-versa (Pageaux, 2016). Effort and muscle pain were analyzed using the “individual isotime” method (Nicolò et al., 2019). The “individual isotime” method has been shown to be efficient to analyze the effects of an experimental manipulation and performance ranking on physiological and psychological variables measured during a time to exhaustion test; i.e., the endurance task performed in the current study (Nicolò et al., 2019). According to this method, the shortest time-to-exhaustion recorded during the different experimental sessions carried out by a participant represents 100% of his/her individual isotime. Then, three other time points corresponding to 0%, 33%, and 66% of the 100% individual isotime were calculated for each participant and session. The time point corresponding to 0% of individual isotime was systematically the first measurement of perception of effort or muscle pain during the time-to-exhaustion test.

### 2.1.7. Cognitive tasks

The first task of the sequential task protocol was either a modified version of the incongruent Stroop task (i.e., the depleting task) or a color-word reading task (i.e., the control task). Participants, while comfortably seated in front of a screen, had to react as quickly and accurately as possible to a visual signal (i.e., a color word) by giving a vocal response in a microphone in both tasks. The two cognitive tasks, the presentation of stimuli and the recording of verbal responses were performed with E-Prime software 2.0 (Psychological Software Tools, Pittsburgh, PA).

In the incongruent Stroop task, a trial began by the occurrence of a fixation point (i.e., a cross) enclosed in a square or a circle for 50 ms in the middle of the screen. Then, the fixation cross alone remained in the middle of the screen for 400 ms. Just after the end of this preparatory signal, a word appeared at the center of the screen (i.e., the response signal) until the response of the participant. In the case of an omission, the response signal lasted 1250 ms and was followed by a fixation cross that lasted 300 ms. If a participant answered before the end of the 1250 ms, a fixation cross occurred in the middle of the screen and lasted to complete the 1250 ms plus 300 ms. Therefore, every trial lasted 2 s. The words (i.e., response signals) displayed on the screen were the name of colors (red, blue, yellow or green) written in another color (e.g., red written in blue). In this task, the color corresponding to the meaning of the word is always incongruent with the color of the ink used to write the word. When a square surrounded the fixation cross, participants had to read the word, and when it was a circle, they had to name the color of the ink. The answers were recorded using two microphones, one to measure response time and the other to record the voice of the participant while answering. The choice of vocal responses was made to create more interference and to increase the strength of the automatic prepotent response (i.e., reading the word) by comparison to manual responses on a keyboard (MacLeod, 1991). The incongruent Stroop task included a unique block of 888 trials and lasted 29.6 min. In 50% of trials, participants had to read the word and in the remaining 50%, they had to name the color of the ink. We chose a proportion of 50/50, first to limit the learning effect during the incongruent Stroop task (Dulaney & Rogers, 1994) and second to make this task more difficult by engaging cognitive flexibility in addition to inhibitory control. The order of presentation of the two categories of trials was completely random.

In the color-word reading task, the time course of a trial was identical to that of the incongruent Stroop task except in two points. First, the participants had to read the color word in 100% of trials whatever the nature of the preparatory signal (i.e., a square or a circle). Second, the response signal was always a color word written in the same color as the meaning of the word (e.g., red written in red).

### 2.1.8. Exclusion criteria

Participants having had a stressful event before a session were removed (e.g., an emotional or stressful separation just before arriving or a sister who was admitted to the hospital). Participants that did not respect the handgrip task instructions were also excluded, i.e., those who stayed below the 12% limit continuously for more than 2 s but did not drop out. Finally, we excluded outliers using 2.5 median absolute deviation (MAD; Leys et al., 2013). Twenty-eight participants were excluded because of these various reasons (Seven were exposed to a stressful event before a session, 10 did not respect the handgrip instructions, 11 were outliers). Statistical analyses were conducted with and without these excluded participants. Analyses with excluded participants are presented in supplementary materials.

### 2.1.9. Statistical analyses

The statistical analyses were made using Jamovi 1.2.27 and Jasp 0.14.0.0. The graphics were created using GraphPad Prism 9.0.0. The alpha level for statistical significance was set at  $\alpha = .05$ . Effect sizes were calculated only for significant and marginal results by partial eta square ( $\eta^2_p$ ) when using an ANOVA and by Cohen’s  $d$  when using a  $t$ -test. All the  $t$ -tests performed in this article were Student  $t$ -test. When a repeated-measures factor with more than two levels was included in the  $F$ -test, the Mauchly’s sphericity test was used to evaluate whether the sphericity assumption has been violated. When the Mauchly’s test was significant, degrees of freedom were systematically corrected using Huynh-Feldt adjustments (Huynh & Feldt, 1976). Results of the Mauchly tests are reported in the supplementary material section. Because the violation of the sphericity assumption increases the type-I error rate, we conducted the Mauchly test only when the  $F$ -test leads to significant results. All post-hoc comparisons were corrected according to the Bonferroni procedure. In this series of experiment, we reported all pertinent measures, manipulations and exclusions in direct relationship with our hypotheses. This section also applies to experiments 2 and 3.

## 2.2. Results

### 2.2.1. Ego-depletion effect

An ANOVA with Group (experimental group vs control group) as a between-subjects factor and Session (first vs second) as a within-subjects factor was conducted on the time-to-exhaustion in the handgrip endurance task. We expected the following Group by Session interaction: the time to exhaustion should decrease in the experimental group from session one to session two, whereas it should remain stable between the two sessions in the control group. The interaction between Group and Session did not reach significance (see Fig. 3A) showing that we failed to observe an ego depletion effect:  $F(1, 88) = 0.08, p = .782, \eta^2_p = .001, CI_{95} [0, 0.047]$ . The simple effects of Group and Session also did not reach significance:  $F(1, 88) = 3.75, p = .056, \eta^2_p = .041, CI_{95} [0, 0.145]$  and  $F(1, 88) = 0.30, p = .583, \eta^2_p = .003, CI_{95} [0, 0.065]$ , respectively. On average, participants maintained the handgrip contraction during 6.66 min ( $SD = 2.46$  min) whatever the cognitive task preceding the handgrip endurance task and session.

We also conducted a Bayesian repeated measure ANOVA with the same independent variables on time-to-exhaustion during the endurance handgrip task. We used a prior scale  $r = 0.5$  for fixed effect and  $r = 1.0$  for random effect. The results indicated a strong support in favor of the null hypothesis for the interaction between Group and Session:  $BF_{01} = 17.67$ , error percentage = 2.52. The main effect of Session was also in favor of the null hypothesis with a moderate support:  $BF_{01} = 5.45$ , error percentage = 1.60. Finally, the main effect of Group remained undetermined:  $BF_{01} = 0.72$ , error percentage = 1.59.

### 2.2.2. Maximal voluntary contraction

The MVC was measured at the beginning of each session (see Fig. 1) to ensure that participants started the session with the same force production capacity of the working muscles. We conducted an ANOVA with

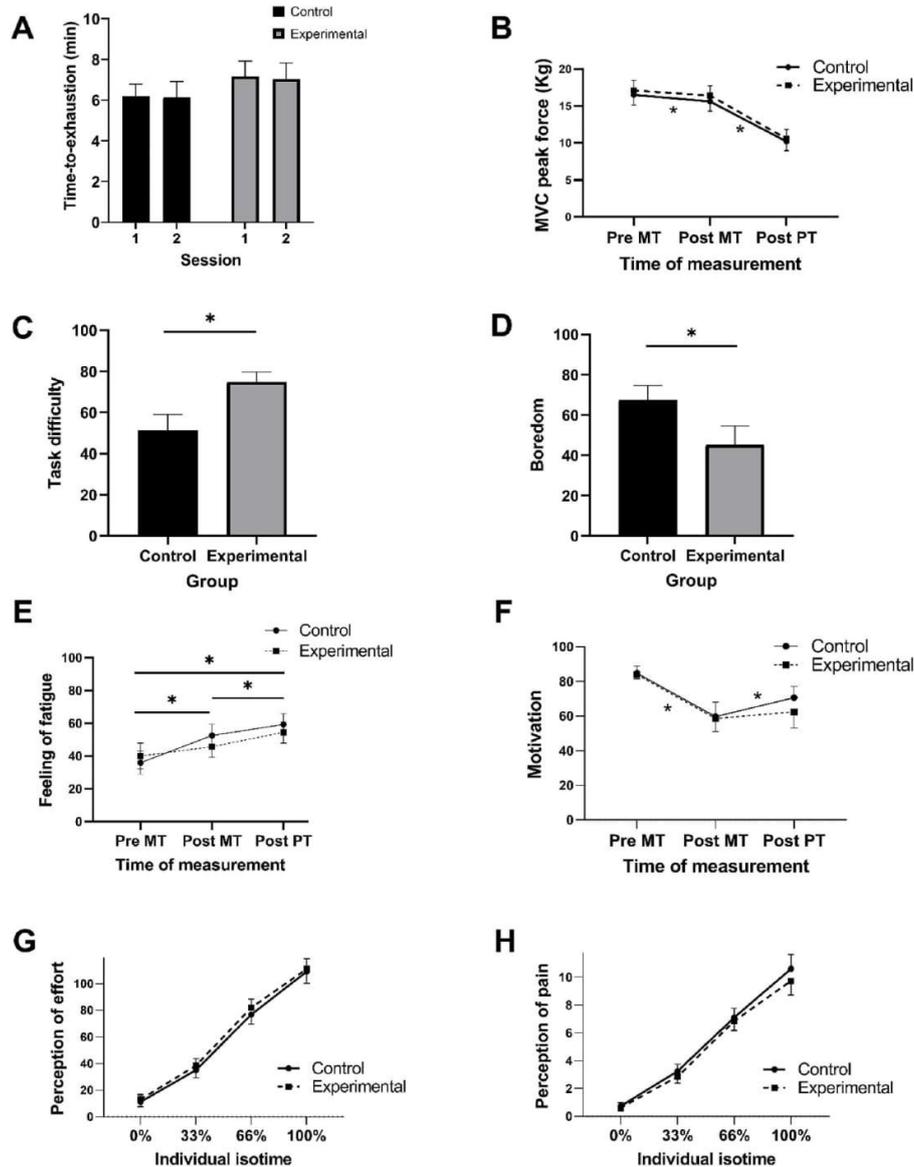


Fig. 3. Main results of experiment 1. (A) Time-to-exhaustion in the handgrip endurance task as a function of group (Control, Experimental) and session (1 or 2). (B) Mean maximal voluntary contraction (MVC) peak force as a function of group and time of measurement (Pre MT, Post MT, Post PT). (C) Task difficulty as a function of group. (D) Boredom as a function of group. (E) Feeling of fatigue as a function group and time of measurement. (F) Motivation to perform the mental task as a function of group and time of measurement. (G) Perception of effort during the handgrip endurance task as a function to individual isotime (0%, 33%, 66%, 100%) and group. (H) Perception of muscle pain during the handgrip endurance task as a function of individual isotime and group. Data are presented as mean plus or minus one 95% confidence interval,  $n = 90$ . Control = control group; Experimental = experimental group; Pre MT = before the mental task; Post MT = after the mental task; Post PT = after the physical task; (\*)  $p < .05$ .

Group (depleted group vs. control group) as between-subjects factor and Session (first vs. second) as within-subjects factor on the first MVC of each session. The interaction of this ANOVA did not reach significance:  $F(1, 88) = 0.00, p = .997, \eta^2_p = .000, CI_{95} [0, 0]$ . The main effects of Group and Session also did not reach significance:  $F(1, 88) = 0.46, p = .497, \eta^2_p = .005, CI_{95} [0, 0.072]$  and  $F(1, 88) = 2.09, p = .151, \eta^2_p = .023, CI_{95} [0, 0.115]$ , respectively. The mean of MCV peak force for participants was 16.7 Kg ( $SD = 4.16$  Kg) for this first measurement.

In addition, we measured the MVC before and after the handgrip endurance task to ensure that the participants gave their best while performing the task. We conducted an ANOVA with Time (before mental task vs after mental task vs after the handgrip task) as within-subjects factor and Group (depleted group vs control group) as between-subjects factor on MVC. The interaction between Group and Time and the simple effect of Group did not reach significance:  $F(2, 176) = 0.47, p = .629, \eta^2_p = .005, CI_{95} [0, 0.036]$  and  $F(1, 88) = 0.49, p = .486, \eta^2_p =$

.006,  $CI_{95}$  [0, 0.073], respectively. The main effect of Time remained significant after the Huynh-Feldt correction:  $F(1.76, 155.10) = 443.62$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2_p = .834$ ,  $CI_{95}$  [0.788, 0.863]. Post-hoc comparison with Bonferroni correction indicated that participants had a lower MVC after the mental task ( $M = 16.0$  Kg,  $SD = 4.33$ ) than before ( $M = 16.8$  Kg,  $SD = 4.51$ ):  $t(176) = 3.42$ ,  $p = .002$ ,  $d_z = 0.46$ ,  $CI_{95}$  [0.24, 0.68] (see Fig. 3B). They also had a lower MVC just after the endurance task ( $M = 10.4$  Kg,  $SD = 4.07$ ) by comparison to before and after the mental task:  $t(176) = 27.34$ ,  $p < .001$ ,  $d_z = 2.64$ ,  $CI_{95}$  [2.20, 3.08] and  $t(176) = 23.91$ ,  $p < .001$ ,  $d_z = 2.32$ ,  $CI_{95}$  [1.92, 2.72], respectively (see Fig. 3B).

### 2.2.3. Cognitive load of the depleting and control tasks

Participants reported the depleting task as more difficult ( $M = 74.8$ ,  $SD = 16.5$ ) than the control task ( $M = 51.2$ ,  $SD = 25.5$ ):  $t(88) = 5.25$ ,  $p < .001$ ,  $d_s = 1.11$ ,  $CI_{95}$  [0.66, 1.55] (see Fig. 3C). They also reported that they used more mental resources to perform the depleting task ( $M = 83.5$ ,  $SD = 15.4$ ) than the control task ( $M = 71.7$ ,  $SD = 23.9$ ):  $t(88) = 2.81$ ,  $p = .006$ ,  $d_s = 0.59$ ,  $CI_{95}$  [0.17, 1.01]. These two results suggest that the depleting task was experienced as more demanding than the control task.

### 2.2.4. Feelings of fatigue

We conducted an ANOVA with Time (before the mental task, after the mental task, and after the handgrip endurance task) as a within-subjects factor and Group (experimental group vs. control group) as a between-subjects factor on the feeling of fatigue. We observed a marginal interaction between Time and Group and a significant effect of Time after a Huynh-Feldt adjustment:  $F(1.81, 159.25) = 3.06$ ,  $p = .055$ ,  $\eta^2_p = .034$ ,  $CI_{95}$  [0, 0.098] and  $F(1.81, 159.25) = 34.37$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2_p = .281$ ,  $CI_{95}$  [0.166, 0.380], respectively (see Fig. 3E). The simple effect of Group did not reach significance:  $F(1, 88) = 0.38$ ,  $p = .540$ ,  $\eta^2_p = .004$ ,  $CI_{95}$  [0, 0.068]. Post hoc comparisons with Bonferroni correction indicated that the feeling of fatigue was higher after the mental task ( $M = 49.0$ ,  $SD = 22.7$ ) than before ( $M = 38.0$ ,  $SD = 24.9$ ):  $t(176) = 4.90$ ,  $p < .001$ ,  $d_z = 0.48$ ,  $CI_{95}$  [0.26, 0.70]. In the same way the feeling of fatigue was higher after the handgrip task ( $M = 56.7$ ,  $SD = 21.9$ ) by comparison to the two other assessment times:  $t(176) = 3.35$ ,  $p = .003$ ,  $d_z = 0.44$ ,  $CI_{95}$  [0.22, 0.65] and  $t(176) = 8.24$ ,  $p < .001$ ,  $d_z = 0.76$ ,  $CI_{95}$  [0.52, 0.99], respectively. Results suggested that the color-word reading task (i.e., the control task) was perceived as fatiguing as the incongruent Stroop task (i.e., the depleting task).

### 2.2.5. Boredom during the mental task

Participants in the control group reported more boredom ( $M = 67.4$ ,  $SD = 23.4$ ) than participants in the experimental group ( $M = 45.1$ ,  $SD = 32.1$ ):  $t(88) = 3.72$ ,  $p < .001$ ,  $d_s = 0.79$ ,  $CI_{95}$  [0.35, 1.21] (see Fig. 3D). The correlation between boredom and fatigue reached significance when including data from both groups:  $r = .325$ ,  $p = .002$ . The higher level of boredom after the control task may explain the higher feeling of fatigue experienced by the participants. Furthermore, when boredom was added as a covariate in the ANOVA testing the ego-depletion effect, the interaction remained not significant:  $F(1, 87) = 0.53$ ,  $p = .468$ ,  $\eta^2_p = .006$ ,  $CI_{95}$  [0, 0.075].

### 2.2.6. Motivation to perform the mental task

The same ANOVA design used for fatigue was applied to motivation to perform the mental task. This analysis did not show a significant interaction:  $F(2, 176) = 1.27$ ,  $p = .282$ ,  $\eta^2_p = .014$ ,  $CI_{95}$  [0, 0.059]. While adjusted with the Huynh-Feldt correction, the effect of Time reached significance:  $F(1.91, 167.66) = 51.18$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2_p = .037$ ,  $CI_{95}$  [0.253, 0.460] (see Fig. 3F). We did not observe an effect of Group:  $F(1, 88) = 0.59$ ,  $p = .445$ ,  $\eta^2_p = .007$ ,  $CI_{95}$  [0, 0.076]. Post-hoc tests with Bonferroni correction showed that participants reported to be less motivated to perform the mental task again right after its completion, whatever the mental task:  $t(176) = 9.84$ ,  $p < .001$ ,  $d_z = 0.95$ ,  $CI_{95}$  [0.70, 1.20]. This motivation significantly increased after the handgrip

endurance task ( $t(176) = -2.90$ ,  $p = .013$ ,  $d_z = 0.34$ ,  $CI_{95}$  [0.13, 0.56]) but was significantly lower than the motivation measured at the beginning of the session:  $t(176) = 6.94$ ,  $p < .001$ ,  $d_z = 0.72$ ,  $CI_{95}$  [0.48, 0.95]. In addition, when we included the drop in motivation (composite score: motivation after mental task minus motivation before) as a covariate in the ANOVA testing the ego depletion effect, the effect of Session remained not significant:  $F(1, 87) = 0.08$ ,  $p = .782$ ,  $\eta^2_p = .001$ ,  $CI_{95}$  [0, 0.048].

### 2.2.7. Perceptions of effort and muscle pain during the handgrip endurance task

We conducted an ANOVA with Group (experimental group vs. control group) as a between-subjects factor and Individual isotime (0% on the task, 33%, 66% and 100%) as a within-subjects factor on the perceived effort during the handgrip endurance task. The interaction did not reach significance:  $F(3, 255) = 0.43$ ,  $p = .731$ ,  $\eta^2_p = .005$ ,  $CI_{95}$  [0, 0.023]. The effect of Group was also not significant:  $F(1, 85) = 0.82$ ,  $p = .368$ ,  $\eta^2_p = .009$ ,  $CI_{95}$  [0, 0.086]. The effect of Individual isotime was still significant after the Huynh-Feldt adjustment:  $F(1.90, 161.30) = 680.65$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2_p = .889$ ,  $CI_{95}$  [0.856, 0.908]. Participants reported more effort throughout the handgrip endurance task (see Fig. 3G).

The same ANOVA was conducted on the perception of muscle pain during the handgrip endurance task. The interaction did not reach significance ( $F(3, 255) = 1.17$ ,  $p = .320$ ,  $\eta^2_p = .014$ ,  $CI_{95}$  [0, 0.044]) nor did the effect of Group:  $F(1, 85) = 0.99$ ,  $p = .321$ ,  $\eta^2_p = .012$ ,  $CI_{95}$  [0, 0.091]. We observed an effect of Individual isotime on the perception of muscle pain in spite of the Huynh-Feldt adjustment:  $F(1.66, 141.41) = 542.06$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2_p = .864$ ,  $CI_{95}$  [0.824, 0.889]. The perception of muscle pain increased as a function of Individual isotime throughout the handgrip endurance task (see Fig. 3H).

### 2.2.8. Self-control trait

Finally, at the end of the second session, participants completed the Brief Self-Control Scale. There was no effect of Group (depleted vs. control) on the self-control score:  $t(88) = 0.37$ ,  $p = .712$ ,  $d_s = 0.08$ ,  $CI_{95}$  [-0.34, 0.49]. The mean score for the control group was 40.6 ( $SD = 5.92$ ), whereas it was 40.0 ( $SD = 8.15$ ) for the depleted group on a scale ranging from 13 to 65. When adding the self-control trait as covariate to the repeated measures ANOVA on the time to exhaustion in the handgrip endurance task, the interaction remained non-significant. However, an interaction effect between self-control trait and the session was obtained ( $F(1, 87) = 4.96$ ,  $p = .029$ ,  $\eta^2_p = .054$ ,  $CI_{95}$  [0, 0.166]) and the effect of Session reached significance:  $F(1, 87) = 5.25$ ,  $p = .024$ ,  $\eta^2_p = .057$ ,  $CI_{95}$  [0.0001, 0.170]. The lower the participants' self-control trait, the lesser they performed on squeezing the handgrip, which was even worse after the cognitive tasks (incongruent Stroop or color-word reading tasks).

### 2.2.9. Performance in the cognitive tasks

In this section, we compare the performances of both groups during the cognitive task to be sure that the participants followed the instructions and that the incongruent Stroop task was more demanding than the color-word reading task. We conducted a repeated measure ANOVA on mean reaction time (RT) with time-on-task (TOT) as within-subjects factor and Group as between-subjects factor. We observed an interaction between TOT and Group:  $F(1.89, 165.93) = 6.65$ ,  $p = .002$ ,  $\eta^2_p = .07$ ,  $CI_{95}$  [0.010, 0.149]. When decomposing this interaction in simple effects, we observed that the effect of TOT reached significance for the control group, but not for the experimental group:  $F(2.14, 89.76) = 57.38$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2_p = .577$ ,  $CI_{95}$  [0.435, 0.664] and  $F(3, 138) = 1.258$ ,  $p = .291$ ,  $\eta^2_p = .027$ ,  $CI_{95}$  [0.00, 0.081], respectively. Post-hoc comparisons with Bonferroni correction for the control group showed that mean RT was marginally shorter in the first part of the task ( $M = 414.11$  ms,  $SD = 51.07$  ms) than in the second part ( $M = 432.29$  ms,  $SD = 55.14$  ms),  $t(264) = 2.95$ ,  $p = .064$ ,  $d = 0.94$ ,  $CI_{95}$  [0.58, 1.30], but significantly shorter than in the third part ( $M = 448.04$  ms,  $SD = 61.64$  ms),  $t(264) = 5.50$ ,  $p < .001$ ,  $d = 1.16$ ,  $CI_{95}$  [0.77, 1.55] and fourth part

( $M = 457.65$  ms,  $SD = 61.81$  ms),  $t(264) = 7.05$ ,  $p < .001$ ,  $d = 1.48$ ,  $IC_{95}$  [1.04, 1.91]. There was also a significant difference between the mean RT of the second and the fourth part of the control task:  $t(264) = 4.11$ ,  $p < .001$ ,  $d = 1.31$ ,  $IC_{95}$  [0.74, 1.51]. As expected, the effect of Group was significant:  $F(1, 88) = 308.53$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2_p = .778$ ,  $IC_{95}$  [0.694, 0.828]. Mean reaction in the incongruent Stroop task ( $M = 679.80$  ms,  $SD = 73.17$  ms) were significantly longer than in the color-word reading task ( $M = 437.75$  ms,  $SD = 55.71$  ms).

Finally, the same analysis was conducted on mean decision error rate. The interaction between TOT and Group did not reach significance:  $F(3, 264) = 2.22$ ,  $p = .086$ ,  $\eta^2_p = .025$ ,  $IC_{95}$  [0, 0.062]. In the same way, the main effect of the TOT did not reach significance:  $F(3, 264) = 1.42$ ,  $p = .295$ ,  $\eta^2_p = .014$ ,  $IC_{95}$  [0, 0.048]. However, a main effect of the Group reached significance:  $F(1, 88) = 82.46$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2_p = .484$ ,  $IC_{95}$  [0.332, 0.592]. Participants of the control group made less decision errors ( $M = 0.008$ ,  $SD = 0.023$ ) than participants of the experimental group ( $M = 0.086$ ,  $SD = 0.052$ ).

These results suggest two comments. First, the incongruent Stroop task was more demanding than the color-word reading task: performances in speed (mean RT) and accuracy (rate of decision errors) were worse in the group of participants who carried out the incongruent Stroop task than in the group of participants who performed the color-word reading task. Second, the engagement of participants in both tasks was satisfying because the rate of decision errors was relatively low in both groups (8.6% for the incongruent Stroop task and 0.8% for the color-word reading task).

### 2.3. Discussion

In this first experiment, we did not replicate the ego depletion effect although we used a long and effortful depleting task tapping two core executive functions (i.e., inhibitory control and cognitive flexibility). However, during the experiment, participants reported that they experienced the control task as boring. Taken together, our results suggest that the color-word reading task was a bad control task as it induced more boredom than the depleting task and led to a greater feeling of fatigue after performing the task than before, whereas the depleting task did not. This proposal is in total agreement with a prediction made in a recent theoretical article on boredom and self-control (Wolff & Martarelli, 2020) and the results of a recent study (Bieleke et al., 2021). To maintain performance in spite of this boredom, participants in the control group had likely exerted effortful control to manage the boredom induced by the reading task.

Another way to explain the lack of ego-depletion effect is that the participants did not give their best to perform the handgrip endurance task, particularly in the control group. Results did not support this hypothesis because there was a large drop in performance in the handgrip MVC task after the handgrip endurance task in both groups: MVC peak force decreased by 36% in average ( $SD = 15.7$ ). We also observed a small decrease in MVC peak force after the mental task ( $M = 3.8\%$ ,  $SD = 12.9\%$ ) in both groups by comparison to the first measurement made at the beginning of the session. As prior mental exertion does not decrease force production capacity (Brown et al., 2020; Pageaux & Lepers, 2018), this small decrease in MVC is most likely due to the absence of a warm-up prior to its completion (Bishop, 2003).

The drop in motivation at the end of the mental task was similar in the control and the depleting tasks, which means that the control task was perceived as effortful as the depleting task. This result could explain why we did not observe any differences in the effort that participants reported engaging in the task or the pain they felt during the handgrip endurance task. Indeed, according to the process model of self-control (Inzlicht & Schmeichel, 2012) and the working model (Wolff & Martarelli, 2020), it can be expected that a drop in motivation is observed after an effortful task inducing a lesser engagement in effort in a subsequent effortful task, particularly at the end of this task.

Results of this first experiment suggest that, the control task must be

changed in order to induce a significantly lower level of effortful control demand than the depleting task. This experiment also suggests that it is crucial to control for boredom during the control task because boredom is perceived as fatiguing, may attract self-control costs and, finally, negatively affect the subsequent dependent task as well as the depleting task.

## 3. Experiment 2

### 3.1. Introduction

Results of the first experiment strongly suggest that the color-word reading task was not a good control task because it was too boring and required too much effort. Within the framework of the sequential task protocol, the hallmark of a good control task is to be the least effortful as possible. In this second experiment, a video task (watching a documentary), which has been used in a similar experiment (Pageaux et al., 2013), was compared to the reading task. The aim of this second experiment was to show that watching an emotionally neutral video is not boring and definitely less boring than performing the reading task used in experiment 1. The principal outcome of this study was the feeling of boredom during the task. Secondary outcomes included the affective state during the task (valence and arousal), the feeling of fatigue and motivation to perform the task.

### 3.2. Methods

#### 3.2.1. Participants

Twenty students (six females, Mean age = 20.26 years,  $SD = 1.59$ ) in sport sciences and psychology from the University of Poitiers took part in the experiment in exchange for course credit. The participants signed an informed consent form after they had received a verbal explanation about the procedure.

#### 3.2.2. Procedure

This experiment included 2 sessions during which participants performed a mental task that lasted 30 min: the same color-word reading task as in the first experiment or watching a video (i.e., the 30 first minutes of the documentary "Earth" by Alastair Fothergill and Mark Linfield, 2007). Before and after the mental task, participants indicated their motivation to perform the task and their fatigue on a visual analog scale ranging from 0% to 100%. They also had to report their emotional state (from sad to happy) and their level of arousal (from calm to excited) using the 9-point scale, "Self-Assessment Manikin" (SAM; Bradley & Lang, 1994; Handayani et al., 2015). At the end of the video session, they finally had to answer "yes" or "no" to 10 easy questions about the content of the video documentary (e.g. "Have you seen a dog in this video?").

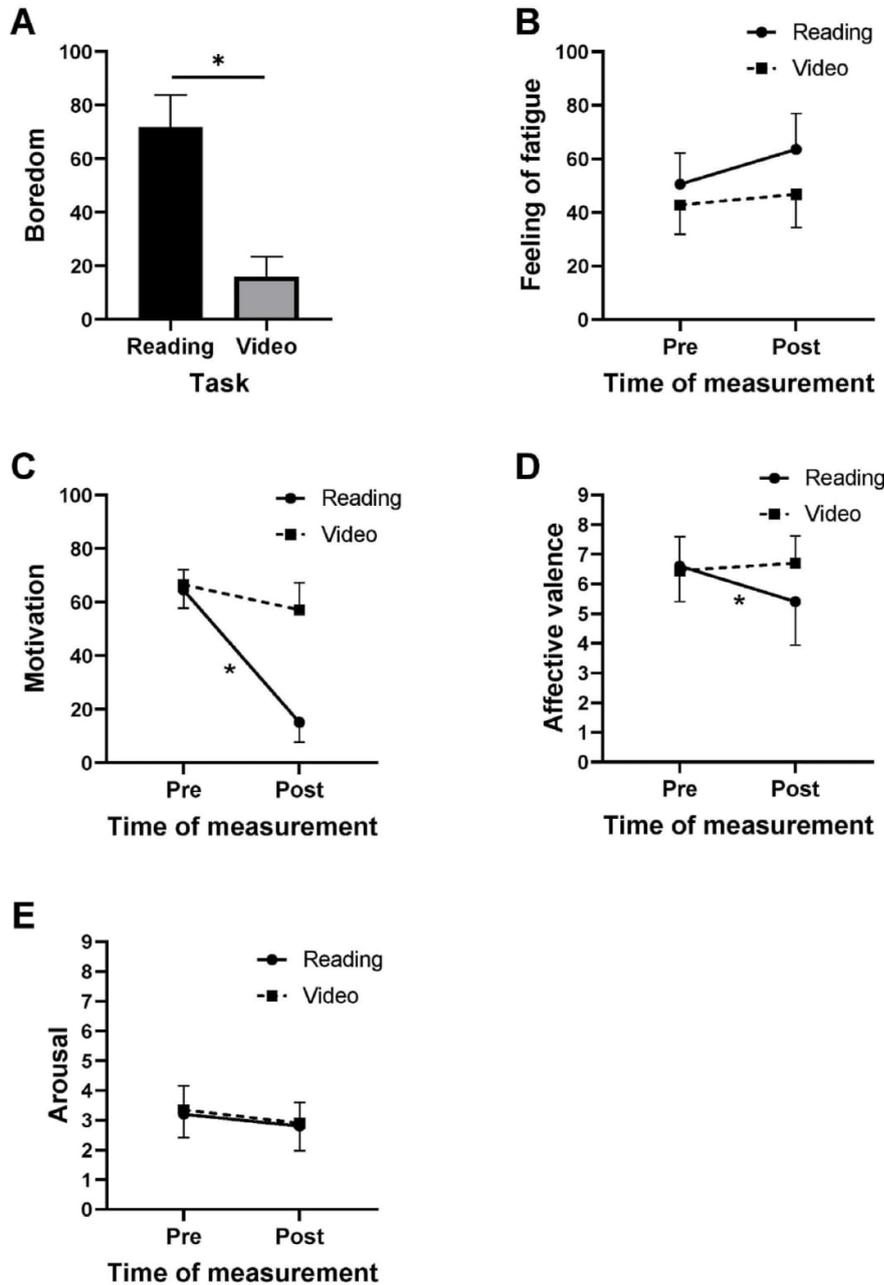
### 3.3. Results

#### 3.3.1. Boredom

First, an ANOVA with Task (reading words in color vs. watching an emotionally neutral video documentary) as a within-subjects factor was carried out on the feeling of boredom during the task. Participants felt more bored during the color-word reading task ( $M = 71.7$ ,  $SD = 26$ ) than during the video task ( $M = 15.9$ ,  $SD = 16.3$ ):  $t(19) = 9.04$ ,  $p < .001$ ,  $d_z = 2.02$ ,  $CI_{95}$  [1.24, 2.79] (see Fig. 4A).

#### 3.3.2. Affective state, arousal, feelings of fatigue and motivation

Then, an ANOVA with Task (color-word reading task vs video task) and Time (before the task vs after the task) as repeated-measure factors was conducted on affective valence, level of arousal, the feeling of fatigue and motivation to perform the task. The interaction between Task and Time reached significance only for affective valence and motivation to perform the task:  $F(1, 19) = 15.09$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2_p = .443$ ,  $CI_{95}$  [0.101,



**Fig. 4.** Main results of experiment 2. (A) Boredom felt during the mental task as a function of the task (reading, video). (B) Feeling of fatigue as a function of mental task and time of measurement (Pre, Post). (C) Motivation to perform the mental task as a function of task and time of measurement. (D) Emotional valence of emotions felt during the mental task as a function of task and time of measurement: the lower the valence is, the more negative the emotions are. (E) Subjective level of arousal as a function of task and time of measurement. Data are presented as mean plus or minus one 95% confidence interval,  $n = 20$ . Reading = color-word reading task; Video = watching a documentary; Pre = before the mental task; Post = after the mental task; (\*)  $p < .05$ .

0.644] and  $F(1, 19) = 50.2, p < .001, \eta^2_p = .725, CI_{95} [0.441, 0.827]$ , respectively. Post hoc comparisons with Bonferroni correction indicated that the video task did not induce any change in affective state ( $t(38) = -0.95, p = .700, d_z = 0.28, CI_{95} [-0.18, 0.72]$ ), whereas the color-word reading task induced saddest affects:  $t(38) = 4.55, p < .001, d_z = 0.86, CI_{95} [0.33, 1.37]$  (see Fig. 4D). We observed the same pattern of results with the motivation to perform the task again. The color-word reading task decreased the motivation to repeat the task ( $t(37.5) = 13.06, p < .001, d_z = 2.82, CI_{95} [1.82, 3.80]$ ), whereas the video task did not induce

a change in motivation:  $t(37.5) = 2.47, p = .072, d_z = 0.57, CI_{95} [0.09, 1.04]$  (see Fig. 4C). As above mentioned, the interaction between Task and Time of measurement did not reach significance for the feeling of fatigue:  $F(1, 19) = 2.43, p = .136, \eta^2_p = .113, CI_{95} [0, 0.376]$  (see Fig. 4B). However there were significant simple effects of Time and Task:  $F(1, 19) = 7.56, p = .013, \eta^2_p = .285, CI_{95} [0.014, 0.530]$  and  $F(1, 19) = 7.90, p = .011, \eta^2_p = .294, CI_{95} [0.017, 0.537]$ , respectively. Participants felt more fatigue after the mental task ( $M = 55.1, SD = 24.4$ ) than before ( $M = 46.6, SD = 21.9$ ). In addition, they felt more fatigue during the

color-word reading session ( $M = 57.0, SD = 24.7$ ) compared to the video session ( $M = 44.8, SD = 23.6$ ). Finally, the level of arousal did not vary significantly as a function of the Task and Time of measurement (see Fig. 4E).

### 3.3.3. Performance in the video task

Finally, to check if participants were paying attention to the video when watching it, a one-sample *t*-test was conducted to compare the percentage of their correct responses to the level of chance (i.e., 50%). The results indicated that the participants answered significantly higher than the level of chance ( $M = 83%, SD = 9.23%$ ):  $t(19) = 16, p < .001, d_z = 3.57, CI_{95} [2.36, 4.78]$ .

## 3.4. Discussion

As expected, participants perceived the video task as less boring than the color-word reading task. In addition, the boredom score in the video task was very low on average (16/100). Furthermore, the video task appeared to be emotionally neutral, and did not induce any change in arousal or feeling of fatigue. In contrast, the color-word reading task induced boredom as in the first experiment, the feeling of fatigue and additionally saddest affective states. For all of these reasons, watching an emotional neutral movie would appear to be a better control task to replicate the ego-depletion effect than the color-word reading task.

## 4. Experiment 3

### 4.1. Introduction

The purpose of the third experiment was to replicate the ego depletion effect with a more appropriate control task. Three methodological choices were made to improve the experimental set-up. First, we kept the long and effortful incongruent Stroop task tapping executive functions as the depleting task. Second, we used a long effortless and emotionally neutral control task (i.e., the video task used in experiment 2) rather than the reading task used in experiment 1. Third, we used a within-subjects design in order to obtain the same power with higher homogeneity but less participants (Francis et al., 2018). The principal and secondary outcomes were the same as in the first experiment.

### 4.2. Methods

#### 4.2.1. Participants

Fifty-five young adult students (37 females, Mean age = 19.84 years,  $SD = 2.23$ ) in sport sciences from the University of Poitiers or recruited from social media (Twitter and Facebook) took part in the experiment. They participated in exchange for course credit or 20 euros, respectively.

The sample size was determined using G\*Power 3.1.9.2 (Faul et al., 2007) with  $d = .30$ ,  $\alpha = .05$ , and  $\text{power} = .90$ . The data from the first study allowed us to determine the correlation among the measure,  $r = .80$ . According to G\*Power, 49 participants were sufficient to detect the effect. We used the same exclusion criteria as in the first experiment. Four participants were excluded from the analysis (100% outliers). The participants signed an informed consent form after they had received a verbal explanation about the procedure.

#### 4.2.2. Procedure

The experiment included 4 sessions spaced by a minimum of 48 h. The first session was the familiarization session. The time course of this session was similar to that of session 1 in experiment 1 as described in Fig. 1A. The second session aimed to assess a baseline performance of the handgrip endurance task, without any mental task beforehand (i.e., baseline session). The 3rd and 4th sessions were the experimental sessions with first the depleting or control mental task and followed by the handgrip endurance task. One more time, the time course of these two sessions was similar to that of session 2 in experiment 1 as described in

Fig. 1B. The mental task was the incongruent Stroop task (the same depleting task as in the first study) or the video task (the same control task as in the second study).

In this experiment, we made a deeper analysis of the Stroop task performance to check if participants followed the instructions and kept engaged throughout the task. We distinguished five categories of trials: (1) noisy trials, (2) anticipations, (3) omissions, (4) decision errors and (5) correct trials. During a noisy trial, a non-pertinent noise occurring before the response of the participant wrongly shortened the RT or prevented him/her to give a response. During anticipation trials, participants had an RT < 150 ms. An omission could be observed in three cases: (1) when the participant did not respond during the trial, (2) when the participant had an RT > 1250 ms and (3) when the response of the participant was not detected because he/she was too far from the microphone or spoke too weakly. An increase in omission rate reflects a higher difficulty to follow task instructions and self-control. In the case of a decision error, the participant gave a wrong response (e.g., RED instead of GREEN). An increase in decision error rate can reflect a failure in the decision-making process that involves executive processes. Finally, during a correct trial the participant gave a correct response with an RT ranging between 150 and 1250 ms. Omission rate, decision rate and RT were analyzed as a function of time-on-task because cognitive fatigue effects classically increase with time-on-task (e.g., Lorist, 2008). In this perspective, the data were divided into 4 intervals: from the first to the 222nd trial, from the 223rd to the 444th trial, from the 445th to the 666th trial and from the 667th to the 888th trials.

The order of the 3rd and 4th sessions was counterbalanced across participants. Before and after the tasks, participants had to complete the same questionnaires as those reported in the first study. At the end of the 4th session, the self-control trait was measured as in the first study.

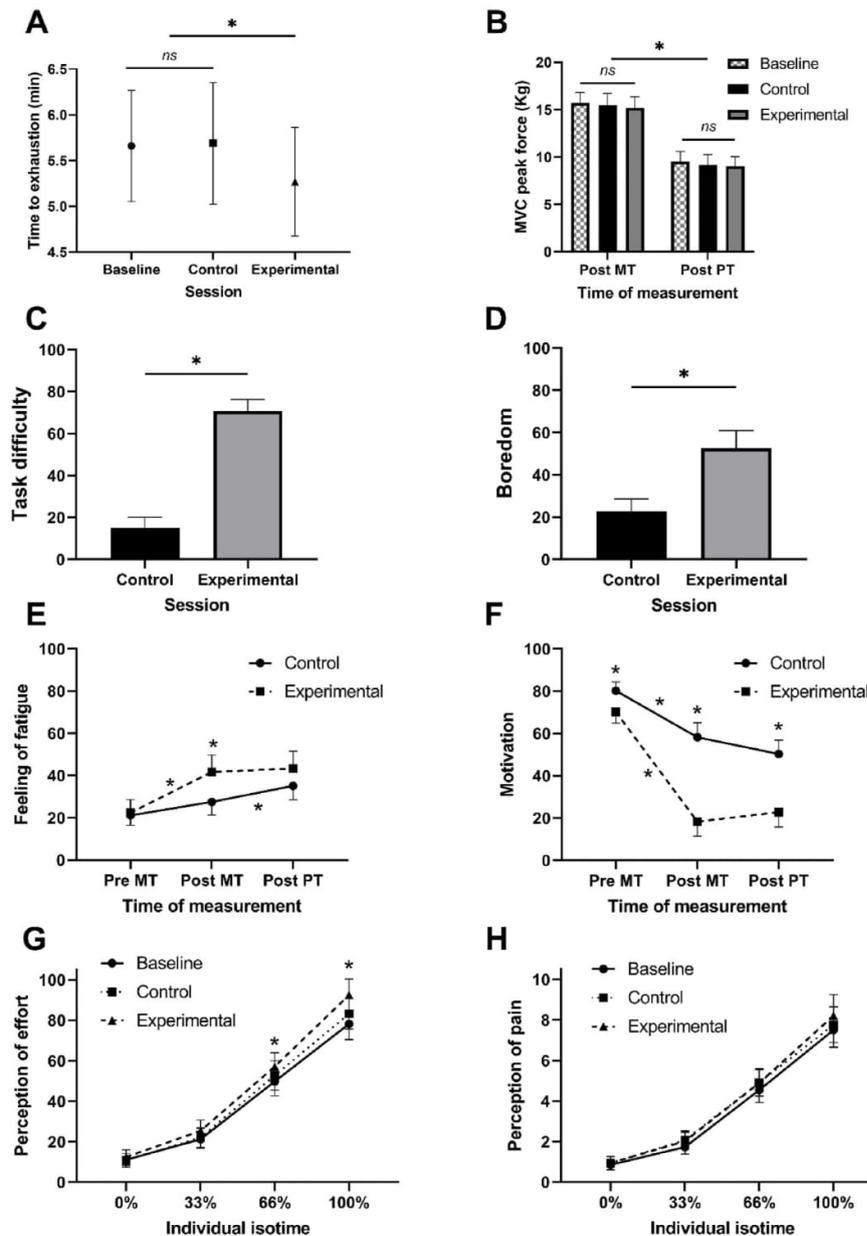
### 4.3. Results

#### 4.3.1. Ego-depletion

As expected, the use of an appropriate control task led to the observation of the ego-depletion effect. To highlight this effect, we conducted two planned contrasts, first by comparing the time-to-exhaustion assessed in the depleting session to the average of the baseline and control sessions. We made the hypothesis that the time-to-exhaustion should be shorter in the depleting session than in the two other sessions. This first planned comparison confirmed that participants performed worse on the handgrip endurance task after the incongruent Stroop task ( $M = 5.27$  min,  $SD = 2.11$ ) than after the video task and in the baseline session ( $M = 5.67$  min,  $SD = 2.14$ ):  $t(100) = -2.52, p = .013, d_z = 0.41, CI_{95} [0.12, 0.69]$  (see Fig. 5A). In the second planned contrast, we compared the control session to the baseline session, with the hypothesis of a null effect. As expected, the second planned comparison showed that the difference between the baseline session ( $M = 5.66$  min,  $SD = 2.16$  min) and the control sessions ( $M = 5.69$  min,  $SD = 2.37$ ) was far from significance:  $t(100) = 0.18, p = .858, d_z = 0.02, CI_{95} [-0.25, 0.30]$ .

We also conducted a Bayesian paired sample *t*-test to test the ego-depletion effect on the time-to-exhaustion during the handgrip endurance task. For the first comparison (depleting vs. control session), we expected an effect around  $d = 0.30$  (see the power analysis). Then, we chose an informed Cauchy prior with a location of 0.3 and a scale  $r = 0.707$ . The results were in favor of the alternative hypothesis (i.e., ego-depletion effect):  $BF_{10} = 8.21$ , error percentage < 0.001. For the second comparison, we expected no difference between the control session and the baseline session on the time-to-exhaustion. We chose an informed Cauchy prior with a location equal to zero and a scale  $r = 0.707$ . The results were in favor of the null hypothesis:  $BF_{01} = 6.48$ , error percentage = 0.05.

However, to test the robustness of our analyses, the same analyses were made using the default Cauchy prior (location at 0.0) with a width of  $r = 0.707$ . The first comparison remained in favor of the alternative



**Fig. 5.** Main results of experiment 3. (A) Time-to-exhaustion in the handgrip endurance task as a function of session (Baseline, Control, Experimental). (B) Mean maximal voluntary contraction (MVC) peak force as a function of session and time of measurement (Post MT, Post PT). (C) Task difficulty as a function of session. (D) Boredom as a function of session. (E) Feeling of fatigue as a function session and time of measurement (pre MT, post MT, post PT). (F) Motivation to perform the mental task as a function of session and time of measurement. (G) Perception of effort during the handgrip endurance task as a function to individual isotime (0%, 33%, 66%, 100%) and session. (H) Perception of muscle pain during the handgrip endurance task as a function of individual isotime and session. Data are presented as mean plus or minus one 95% confidence interval,  $n = 51$ . Baseline = baseline session; Control = control session, Experimental = experimental session; Pre MT = before the mental task; Post MT = after the mental task; Post PT = after the physical task; (\*)  $p < .05$ .

hypothesis under this prior,  $BF_{10} = 6.50$ , error percentage  $< 0.001$  or under an ultrawide prior  $BF_{10} = 3.99$ . The second comparison remained in favor of the null hypothesis,  $BF_{01} = 6.48$ , error percentage  $< 0.001$  or under an ultrawide prior,  $BF_{01} = 12.62$ .

**4.3.2. Maximal voluntary contraction**

As in experiment 1, the MVC was measured at the beginning of each session (see Fig. 1) to ensure that participants started the session with the same force production capacity of the working muscles. We conducted an ANOVA with Session (baseline vs. control task vs. depleting task) as repeated-measures factor on the first MVC of each session. The

F-test for the effect of Session reached significance:  $F(2, 100) = 5.99, p = .003, \eta^2_p = .107, CI_{95} [0.013, 0.218]$ . Post hoc comparison with Bonferroni correction indicated that participants had lower MVC peak force at the beginning of the baseline session ( $M = 15.7 \text{ Kg}, SD = 3.99$ ) by comparison to the control session ( $M = 16.4 \text{ Kg}, SD = 4.45$ ):  $t(100) = 3.46, p = .002, d_z = 0.44, CI_{95} [0.15, 0.73]$ . The MVC peak force at the beginning of the depleting task session ( $M = 16.0, SD = 4.22$ ) did not differ from control session and baseline session:  $t(100) = 1.86, p = .197, d_z = 0.27, CI_{95} [-0.01, 0.55]$  and  $t(100) = 1.60, p = .341, d_z = 0.24, CI_{95} [-0.04, 0.52]$ , respectively. This improvement of performance from the baseline session to the second session could be interpreted as a practice

effect.

In addition, we compared the MVC of participants before and after the handgrip endurance task to ensure that they gave their best while performing the task. We conducted an ANOVA with Time (before vs. after the handgrip task) and Session (baseline, depleting and control) as within-subjects factors on MVC. The F-test was calculated for this interaction did not reach significance:  $F(2, 100) = 0.15, p = .859, \eta^2_p = .003, CI_{95} [0, 0.035]$ . The F-test for this simple effect reached significance:  $F(2, 100) = 3.29, p = .041, \eta^2_p = .062, CI_{95} [0, 0.158]$ . A post-hoc test with the Bonferroni correction showed that the average of two MVCs recorded during the baseline session was significantly lower than that recorded during the depleting session:  $t(100) = 2.56, p = .036, d_z = 0.38, CI_{95} [0.09, 0.66]$ . The main effect of Time also reached significance:  $F(1, 50) = 377.13, p < .001, \eta^2_p = .883, CI_{95} [0.815, 0.915]$ . Post-hoc comparison with Bonferroni correction indicated that participants had a lower MVC after the handgrip endurance task than before whatever the session:  $t(93.4) = 16.09, p < .001, d_z = 2.70, CI_{95} [2.10, 3.29]$  for the baseline session;  $t(93.4) = 16.55, p < .001, d_z = 1.88, CI_{95} [1.41, 2.33]$  for the control session; and  $t(93.4) = 16.11, p < .001, d_z = 2.56, CI_{95} [1.99, 3.13]$  for the depleting session (see Fig. 5B).

#### 4.3.3. Task difficulty

Participants perceived the incongruent Stroop task ( $M = 70.7, SD = 19.8$ ) more difficult than the video task ( $M = 14.9, SD = 18.5$ ):  $t(50) = -15.40, p < .001, d_z = 2.16, CI_{95} [1.65, 2.66]$  (see Fig. 5C).

#### 4.3.4. Feelings of fatigue

An ANOVA with Session (control session vs. depleting session) and Time (before the mental task vs. after the mental task vs. after the handgrip endurance task) as within-subjects factors was then carried out on the feeling of fatigue. The interaction between Session and Time reached significance:  $F(2, 100) = 7.96, p < .001, \eta^2_p = .137, CI_{95} [0.029, 0.254]$  (see Fig. 5E). Post hoc comparisons with Bonferroni correction indicated no difference in the feeling of fatigue before performing any task (depleting task,  $M = 22.4, SD = 22.1$ ; control task,  $M = 21.1, SD = 16.6$ ):  $t(114) = -0.44, p = 1, d_z = 0.10, CI_{95} [-0.18, 0.37]$ . During the control session, the video task did not increase the feeling of fatigue ( $M = 27.5, SD = 22.2$ ), whereas the handgrip endurance task ( $M = 35.1, SD = 23.2$ ) did it marginally:  $t(184) = -2.32, p = .189, d_z = 0.47, CI_{95} [0.17, 0.75]$  and  $t(184) = -2.77, p = .067, d_z = 0.43, CI_{95} [0.15, 0.72]$ , respectively. During the depleting session, the incongruent Stroop task ( $M = 41.7, SD = 28.5$ ) increased the feeling of fatigue:  $t(184) = -7.66, p < .001, d_z = 0.81, CI_{95} [0.49, 1.12]$ . In contrast, the handgrip endurance task did not increase the feeling of fatigue ( $M = 43.4, SD = 28.9$ ):  $t(184) = -0.17, p = 1, d_z = 0.10, CI_{95} [-0.17, 0.38]$ . Furthermore, and more importantly, participants felt more fatigued after the incongruent Stroop task than after the video task:  $t(114) = -4.81, p < .001, d_z = 0.59, CI_{95} [0.29, 0.89]$ .

#### 4.3.5. Motivation

The same repeated-measures ANOVA was conducted on motivation to perform the mental task. The interaction between Session and Time with Huynh-Feldt correction reached significance:  $F(1.84, 92.06) = 24.4, p < .001, \eta^2_p = .328, CI_{95} [0.171, 0.450]$  (see Fig. 5F). According to post hoc comparison with Bonferroni correction, the difference between both sessions before the mental task reached significance (depleting task,  $M = 70.2, SD = 18.6$ ; control task,  $M = 80.2, SD = 14.9$ ):  $t(140) = 2.97, p = .040, d_z = 0.61, CI_{95} [0.31, 0.91]$ . Participants were more motivated to perform the video task than the incongruent Stroop task. In addition, during the control session, participants were less motivated to repeat the video task ( $M = 58.2, SD = 24.7$ ) than to perform it for the first time ( $M = 80.2, SD = 14.9$ ):  $t(190) = 6.37, p < .001, d_z = 0.88, CI_{95} [0.56, 1.20]$ . No differences were found when comparing the motivation score after the video task and after the handgrip endurance task ( $M = 50.3, SD = 23.1$ ):  $t(190) = 2.28, p = .207, d_z = 0.36, CI_{95} [0.07, 0.64]$ . During the depleting session, participants were considerably less

motivated to repeat the incongruent Stroop task ( $M = 18.3, SD = 24.4$ ) than to perform it for the first time ( $M = 70.2, SD = 18.6$ ):  $t(190) = 14.98, p < .001, d_z = 1.97, CI_{95} [1.49, 2.44]$ . There was no difference when comparing motivation after the handgrip endurance task ( $M = 22.8, SD = 24.8$ ) and after the incongruent Stroop task ( $M = 18.3, SD = 24.4$ ):  $t(190) = -1.30, p = 1, d_z = 0.29, CI_{95} [0.01, 0.57]$  (i.e., motivation did not decrease more after a second effortful task).

Even though the motivation was lower after both mental tasks than before, the drop was larger after the incongruent Stroop task:  $t(140) = 11.81, p < .001, d_z = 1.55, CI_{95} [1.13, 1.95]$ . This result indicates that the incongruent Stroop task induced a greater drop in motivation than the video task. Moreover, when we added the drop in motivation (composite score: motivation after mental task minus motivation before) as a covariate, the effect of the session on ego-depletion disappeared ( $F(2, 98) = 0.67, p = .513, \eta^2_p = .013, CI_{95} [0, 0.074]$ ), suggesting that the change in motivation may explain the ego-depletion effect.

#### 4.3.6. Boredom

As in study 1, a *t*-test was carried out to compare perceived boredom during the depleting and control tasks. Participants were significantly more bored during the incongruent Stroop task ( $M = 52.6, SD = 29.8$ ) than during the video task ( $M = 22.9, SD = 20.5$ ):  $t(50) = -7.38, p < .001, d_z = 1.03, CI_{95} [0.69, 1.37]$  (see Fig. 5D). The feeling of fatigue after each mental task was correlated with the boredom felt during the task ( $r = .29$  and  $p = .038$  for the video task;  $r = .38$  and  $p = .006$  for the incongruent Stroop task). The drop in motivation (composite score: motivation after the mental task minus motivation before) in each task was also correlated with the boredom felt during these tasks ( $r = -.43$  and  $p = .002$  for the video task;  $r = -.31$  and  $p = .028$  for the incongruent Stroop task). Furthermore, when boredom was added as a covariate to the ego-depletion effect, the effect of Session disappeared:  $F(2, 96) = 0.16, p = .857, \eta^2_p = .003, CI_{95} [0, 0.037]$ . Thus, the ego-depletion effect can be explained by the boredom induced by the first task.

#### 4.3.7. Perception of effort in the handgrip endurance task

An ANOVA with Session (baseline, control and depleting sessions) and Individual isotime (0%, 33%, 66% and 100%) as within-subjects factors was carried out on the perception of effort during the handgrip endurance task. The interaction between Session and Individual isotime reached significance in spite of the Huynh-Feldt correction:  $F(3.84, 176.61) = 3.68, p = .007, \eta^2_p = .074, CI_{95} [0.006, 0.140]$  (see Fig. 5G). According to post hoc comparison with Bonferroni correction, there was no difference between the three sessions at the start of the handgrip endurance task (0%) and at 33% of the individual isotime. At 66% of the individual isotime, participants perceived the handgrip endurance task as more effortful in the depleting session than in the baseline session:  $t(255) = 3.40, p < .001, d_z = 0.46, CI_{95} [0.17, 0.75]$ . Finally, at 100% of the individual isotime, participants perceived more effort to perform the handgrip endurance task after the incongruent Stroop task than after the video task ( $t(255) = 3.74, p < .001, d_z = 0.42, CI_{95} [0.12, 0.71]$ ) or than in the baseline session:  $t(255) = 5.55, p < .001, d_z = 0.56, CI_{95} [0.25, 0.86]$ . In addition, there was a significant effect of Individual isotime on the perception of effort with the Huynh-Feldt correction:  $F(1.78, 82.00) = 331.26, p < .001, \eta^2_p = .878, CI_{95} [0.826, 0.905]$ . The perception of effort increased throughout the handgrip endurance task whatever the session (see Fig. 5G).

#### 4.3.8. Perception of muscle pain in the handgrip endurance task

The same repeated-measures ANOVA as for perception of effort was conducted on the perception of muscle pain. The interaction between Session and Individual isotime with the Huynh-Feldt correction did not reach significance:  $F(3.80, 174.78) = 1.86, p = .123, \eta^2_p = .039, CI_{95} [0, 0.090]$  (see Fig. 5H). In contrast, the effect of Individual isotime with the Huynh-Feldt correction reached significance:  $F(1.41, 64.95) = 229.04, p < .001, \eta^2_p = .833, CI_{95} [0.752, 0.874]$ . The perception of muscle pain increased throughout the handgrip endurance task whatever the session

(see Fig. 5H).

#### 4.3.9. Self-control trait

At the end of the 4th session, participants answered the Brief Self-Control Scale. When used as a covariate on the time to exhaustion in the handgrip endurance task after the mental tasks, the main effect of the self-control trait was marginal:  $F(1, 49) = 3.67, p = .061, \eta^2_p = .070, CI_{95} [0, 0.230]$ . Participants with higher self-control had a tendency to perform better at squeezing the handgrip. However, the interaction between session and self-control trait did not reach significance:  $F(2, 98) = 1.11, p = .333, \eta^2_p = .022, CI_{95} [0, 0.093]$ . Furthermore, the main effect of Session (no mental task vs. control task vs. depleting task) on time-to-exhaustion disappeared when self-control trait was controlled,  $F(2, 98) = 1.03, p = .362, \eta^2_p = .021, CI_{95} [0, 0.090]$ , indicating that self-control trait was a moderator of the handgrip performance. Consequently, the self-control trait needs to be controlled when studying the ego-depletion effect, especially with a between-subjects design when groups may be different. The average self-control score for the whole group was 42.9 ( $SD = 7.62$ ) on a scale ranging from 13 to 65.

#### 4.3.10. Performance in the incongruent stroop task

The mean rate of noisy trials was in average relatively low:  $M = 0.0326, SD = 0.043$ . The mean rate of anticipations was even lower:  $M = 0.0004, SD = 0.001$ . Concerning the omissions, we conducted a repeated-measure ANOVA with time-on-task (TOT) as within-subjects factor. We observed a significant effect of TOT:  $F(2.28, 123.06) = 6.09, p = .002, \eta^2_p = .101, CI_{95} [0.016, 0.199]$ . Post-hoc comparisons with Bonferroni correction showed that the omission rate was significantly lower in the first part of the task ( $M = 0.056, SD = 0.053$ ) by comparison to the second part ( $M = 0.076, SD = 0.070$ ):  $t(162) = 2.88, p = .035, d = 0.39, IC_{95} [0.11, 0.66]$ , third part ( $M = 0.094, SD = 0.109$ ),  $t(162) = 3.24, p = .030, d = 0.40, IC_{95} [0.12, 0.69]$ , and fourth part ( $M = 0.102, SD = 0.103$ ),  $t(162) = 3.92, p = .010, d = 0.45, IC_{95} [0.17, 0.72]$ . No other comparisons were significant.

Then, we conducted a repeated-measure ANOVA on mean reaction time with the same design and observed a significant effect of TOT:  $F(2.40, 129.50) = 12.54, p < .001, \eta^2_p = .188, CI_{95} [0.073, 0.294]$ . Post-hoc comparisons with Bonferroni correction showed that mean reaction time was significantly quicker in the first part of the task ( $M = 658.20$  ms,  $SD = 81.18$  ms) by comparison to the second part ( $M = 676.29$  ms,  $SD = 82.07$  ms),  $t(162) = 3.29, p = .011, d = 0.44, IC_{95} [0.16, 0.72]$ , third part ( $M = 688.11$  ms,  $SD = 89.37$  ms),  $t(162) = 4.61, p < .001, d = 0.62, IC_{95} [0.33, 0.91]$ , and fourth part ( $M = 688.62$  ms,  $SD = 89.06$  ms),  $t(162) = 4.14, p < .001, d = 0.56, IC_{95} [0.27, 0.84]$ . There was also a significant difference between the second and the third part of the task:  $t(162) = 2.92, p = .030, d = 0.39, IC_{95} [0.12, 0.67]$ . No other comparisons were significant.

Finally, the same analysis was conducted on mean decision error rate. The effect of TOT did not reach significance:  $F(3, 162) = 0.96, p = .413, \eta^2_p = .017, CI_{95} [0, 0.059]$ . In average, the decision error rate remained around 6%:  $M = 0.059, SD = 0.050$ .

These results indicate that participants followed the instructions of the incongruent Stroop task with a low rate of decision errors (6%) and anticipations (0.04%). Furthermore, it is interesting to note that two indexes of performance (i.e., rate of omissions and mean RT) deteriorated as time on task increased indicating that the incongruent Stroop task induced a cognitive fatigue.

#### 4.3.11. Performance in the video task

Finally, we conducted a one-sample  $t$ -test to compare the percentage of correct responses related to the video content to the level of chance (50%). The results showed that the participants paid attention to the video and answered with a significantly higher percentage of correct responses than to the level of chance ( $M = 81.4\%, SD = 11.5\%$ ):  $t(50) = 19.5, p < .001, d_z = 2.73, CI_{95} [2.13, 3.33]$ .

## 4.4. Discussion

In this experiment, we replicated the ego-depletion effect with the incongruent Stroop task as the depleting task, and an emotionally neutral and effortless video task as the control task. The incongruent Stroop task induced boredom and the feeling of fatigue, whereas the video task did not. Moreover, the motivation to watch the movie again right after watching it the first time was lower than before. This result suggests that it seems not to be interesting to perform this effortless and not boring task a second time. Nevertheless, the motivation to perform the mental task decreased much more after the incongruent Stroop task than after the video task. When used as a covariate, the drop in motivation may explain, at least in part, the ego-depletion effect. Furthermore, the boredom felt during the mental task was correlated with the feeling of fatigue and with the motivation. It is not possible in our experiment to determine if boredom generated the feeling of fatigue and the negative change in motivation or vice versa. Eastwood et al. (2012) listed numerous studies showing that boredom is associated with negative affect, such as displeasure, sadness or anger. In addition, Milyavskaya et al. (2019) showed that participants confronted to a 20-min boredom condition reported more fatigue than those that had to cope with a 20-min effortful cognitive task. Furthermore, the MAC model of boredom (Westgate & Wilson, 2018) presents evidence that bored people are not motivated to continue the boring task but to switch toward a more enjoyable activity. All these arguments support the view that, in our experiment, boredom caused an increase in the feeling of fatigue and a decrease in motivation. In the future, it would be interesting to conduct path analysis studies examining the causal link between all of these variables. Taken together, our results suggest that the ego-depletion effect is multifactorial and can be explained by several factors: decrease in self-control capacities, drop in motivation, increase in boredom and the feeling of fatigue.

Results concerning the handgrip MVC task showed that, as in experiment 1, participants consistently gave their best at performing the handgrip endurance task in the three sessions. The decrease in MVC peak force was very similar in the three sessions when comparing the performance before and after the handgrip endurance task:  $M = 40.5\%$  ( $SD = 15.1$ ) in the baseline session,  $M = 41.4\%$  ( $SD = 16.8$ ) in the control session, and  $M = 41.5\%$  ( $SD = 15.0$ ) in the depleting session. As in experiment 1, we also observed that there was a little drop in MVC peak force after the mental task whatever the session:  $M = 5.1\%$  ( $SD = 6.8$ ) in the control session and  $M = 5.3\%$  ( $SD = 6.9$ ) in the depleting session. As proposed in the discussion of study 1, this small decrease in MVC peak force is likely due to the absence of warm-up before performing the MVC after a 30 s period of rest.

Concerning the perception of effort, according to the motivational intensity theory (Richter et al., 2016) and the prediction of Wright (2014), when the participants are mentally fatigued, they should invest more effort to perform the same task. In the third experiment, compared to the video task, participants reported feeling more fatigued after the incongruent Stroop task. In the same way, they had a greater perception of effort at the end of the handgrip endurance task after the incongruent Stroop task in comparison to the video task. This result supports the idea that performing the handgrip endurance task after an effortful depleting task incurs more costs than after an effortless control task. This result is also in line with the literature on cognitive fatigue consistently observing an increased perception of effort following prolonged mental exertion (for review see Pageaux & Lepers, 2018).

Concerning the perception of muscle pain, our results did not reveal any effect on muscle pain induced by the completion of the handgrip endurance task. This difference between our result and the literature is likely due to the different nature of the pain investigated. In our task, we investigated naturally occurring muscle pain during a physical task (O'Connor & Cook, 2001), why others investigated thermal pain in a resting state (Silvestrini & Rainville, 2013) or pain induced by cold water immersion (Vohs et al., 2008). Further studies are needed to better

appraise the effect of ego-depletion on pain perception.

## 5. General discussion

### 5.1. Replication

The aim of this series of studies was to replicate the ego-depletion effect in favorable conditions of replication in order to avoid possible bias met by unsuccessful replication studies (e.g., [Etherton et al., 2018](#); [Hagger et al., 2016](#); [Lurquin et al., 2016](#); [Osgood, 2017](#); [Xu et al., 2014](#)). Two parameters of the depleting task have been calibrated to facilitate the observation of an ego-depletion effect: a long duration (close to 30 min) and a high cognitive load (a task requiring both inhibitory control and cognitive flexibility). In addition, the boring and effortful control task used in experiment 1 was replaced with a strongly less effortful and not boring control task in experiment 3. Finally, we used a classic dependent task: the handgrip endurance task, which requires task persistence, a trait closely related to effortful control (e.g., [Mägi et al., 2018](#)).

In the first experiment, we failed to replicate the ego-depletion effect, but the results suggest that this null effect was obtained because of an inappropriate control task. We chose this control task in order to put the participants in exactly the same experimental conditions in depleting and control conditions, except for the load of the executive and effortful control that the participants have to exert in each condition. In the depleting condition, they had to inhibit either the automatic response to read the word presented on the screen or the response corresponding to the color of the ink. In addition, they also had to switch from reading the word to naming the color of the ink at the beginning of a trial each time there was a change of preparatory signal. These two instructions made the depleting condition very effortful and attention demanding. In contrast, in the control condition, the participants had simply to read the word at each trial throughout the task. This condition required little attention and was not supposed to tap executive control. Thus, we expected to have created a good contrast between the two experimental conditions. Unexpectedly, the results showed that the control task was evaluated as more boring than the depleting task. Furthermore, boredom was significantly correlated with subjective fatigue. [Milyavskaya et al. \(2019\)](#) observed very similar results in a number manipulation or viewing task: participants reported more fatigue in the boredom condition (passive number viewing) than those in the cognitive effort condition (adding 3 to the presented digit), despite reporting exerting less effort. It is possible that the management of boredom requires effortful control, for instance to counteract the desire to stop the boring activity when the individual is constrained to continue the task until the end. The self-control costs required by the management of boredom during task performance should be more carefully examined in the future (see section 5.4).

Nevertheless, only two studies ([MacMahon et al., 2019](#); [Pageaux et al., 2014](#)) have already found the ego-depletion effect using the same depleting and control tasks as in our first study. To our knowledge, these two studies are the only ones to use an incongruent Stroop task with a minimum duration of 30 min as depleting task and a congruent Stroop task (i.e., color-word reading task) of the same duration as control task. First, both studies had low sample size (13 and 12 participants, respectively) and consequently lower statistical power. A false positive is more possible than with a larger sample size. Second, the tasks they used were similar to ours except for what concerns the response instructions of the Stroop task. In our first study, participants answered orally to the depleting and control tasks, while in the two other studies, they answered by pressing a key on a keyboard. The oral answer is an automatic response that does not need learning and then can create boredom quickly. In contrast, pressing the key located on a keyboard, in response to a word in color, is not a natural stimulus-response mapping established since childhood. In this case, there is no dimensional overlap between the stimuli and the responses ([Kornblum et al., 1990](#)).

Participants need to practice extensively the task to strengthen the link between stimuli and responses. Consequently, the manual version of the reading Stroop task is presumably more attention demanding and less boring than its vocal version. This hypothesis needs to be tested.

Our second experiment confirmed that a long, color-word reading task generates a high level of boredom and induces negative affective states. The video-watching task, was frequently used as a control task in experiments examining the effect of cognitive fatigue on physical performance or motor skills (e.g., [Badin et al., 2016](#); [Brown & Bray, 2019](#); [Head et al., 2017](#)). In contrast to the color-word reading task, the video task was evaluated as emotionally neutral and did not induce boredom. Consequently, we decided to use this task as the control task in the third experiment.

The third experiment showed that with some methodological precautions, we replicated the ego-depletion effect. The participants gave up the handgrip endurance task earlier after the long and effortful incongruent Stroop task than after watching a neutral video of the same duration or when no mental task preceded the handgrip endurance task. In addition, the feelings of fatigue and boredom were higher after the incongruent Stroop task than after the documentary. These results are coherent with those of six other comparable within-subjects design studies showing that performing a long and effortful cognitive task has a detrimental effect on a subsequent physical performance ([Brown & Bray, 2019](#); [Head et al., 2017](#); [Marcora et al., 2009](#); [Pageaux et al., 2013](#); [Penna et al., 2018](#); [Smith et al., 2015](#)). All these studies used a cognitive task tapping executive functions with a duration greater than 30 min as the depleting task and a neutral documentary of the same duration as the control task. In contrast, each of these studies used a different physical outcome in the dependent task: time to exhaustion in a cycling task at 80% peak workload ([Marcora et al., 2009](#)); 20% knee extensors MVC time-to-exhaustion ([Pageaux et al., 2013](#)); velocity during a self-paced intermittent running task ([Smith et al., 2015](#)); decision-accuracy errors in a marksmanship task ([Head et al., 2017](#)); total work in a self-paced cycling task ([Brown & Bray, 2019](#)); and completion time in a 1500 m swimming task ([Penna et al., 2018](#)). In all these studies, the performance in the physical task was worse when it was carried out after the effortful cognitive task in comparison to the effortless video task. The sample size of our study was notably larger than that of these studies, 51 participants in our third experiment against a sample ranging between 10 and 25 participants in the other studies, but the other studies led to a moderate effect size ( $M = 0.39$ ,  $SD = 0.26$ ) as well as our study ( $d_z = 0.41$ ).

### 5.2. Role of motivation in the ego depletion effect

Three main different theoretical approaches explain the disengagement of effort and the drop in performance observed after carrying out an effortful task: the depletion of an internal resource ([Baumeister et al., 1998, 2018](#)), a shift of motivation and attention toward more pleasant activities ([Inzlicht et al., 2014](#)) and an imbalance between effort costs and effort benefits ([Boksem & Tops, 2008](#); [Shenhav et al., 2017](#)). Our experiment did not allow determining which mechanisms explain best the drop in performance. However, it was possible to check if our data fit well with the predictions of one of these models.

Concerning the motivation to perform an effortful task, the process model of self-control ([Inzlicht & Schmeichel, 2012](#)) makes clear predictions: it must be lower after the depleting task by comparison to before. This pattern of results was observed in experiment 3 with a large effect size. In addition, when we added the decrease in motivation as a covariate in the ANOVA testing the session effect (depleting task vs control task) the ego-depletion effect disappeared. These results strongly support the process model of self-control but are in contradiction with the results of a recent study published by [Stocker et al. \(2020\)](#) in which the ego depletion effect was not mediated by motivation. Furthermore, the hypothesis of a decrease in motivation to exert effortful control after the performance of a first effortful task does not exclude that a decrease

in internal resource precedes or accompanies the shift in motivation toward less effortful activities. This resource depletion hypothesis requires psychophysiological, electrophysiological or brain imaging measurements to be appropriately tested, such as the assessment of effort deployment with pre-ejection period (Kelsey, 2012) or prefrontal theta waves (Umemoto et al., 2019) when effort is viewed as a mental resource. However, to stay more neutral about the mechanisms underpinning the ego-depletion effect, it would be more appropriate in the future to use other terms while designating the “depleting task” and the “control task”. For instance, the terms “high control task” or “high-effort demanding task” could be used instead of “depleting task” and “low control task” or “low-effort demanding task” instead of “control task”.

If we further challenge the process model of self-control, it predicts that the motivation to perform the depleting task should decrease again after the second effortful task (i.e., handgrip endurance task) because people are generally aversive to perform a second costly task while they already performed a first costly task. We did not observe this additional decrease of motivation after the second effortful task (see section 4.3.5). This result can be due to a ceiling effect: the motivation score being very low after the depleting task with an average of 18/100. Then, after the handgrip endurance task, participants could not report a lower motivation to perform the depleting task again. This possible evolution of motivation until reaching a ceiling limit needs further investigations.

### 5.3. Role of boredom in the ego depletion effect

According to Wolff and Martarelli (2020), the boredom associated with the depleting task can increase the effort cost of this task and thus contribute to the ego-depletion effect. In this perspective, the depleting task can be viewed as more self-control demanding than the control task for two main reasons: (1) a higher demand in effortful control because the involvement of executive functions, (2) a higher demand in effortful control because the occurrence of boredom with time-on-task. In our last experiment, the ego-depletion effect is then the consequence of the contrast in control demand and/or boredom between the Stroop task and the video-watching task. Our results clearly showed that when boredom was controlled, the ego depletion was no more significant. In the future, it would be important to disentangle the respective role of the boredom and the cognitive load induced by the depleting task in the ego depletion effect. For instance, it would be interesting to use two conditions with the same cognitive load (e.g., same executive function and same level of difficulty) but with two levels of boredom (e.g., continuous and monotonous boring task vs. a variety of sequential short tasks tapping the same executive function) in addition to a non-effortful control task.

### 5.4. Limits

We identify five main limits in our study. The first limit is related to the use of a between-subjects design in the first experiment while we used a within-subjects design in the third experiment. We decided to change the design for two main reasons: to have sufficient statistical power as in the first experiment with less participants, because we knew the correlation among repeated measures of the principal outcome thanks to the first study (May & Hittner, 2012); and to reduce inter-individual differences (e.g., self-control trait), which may lead to between group differences. However, a recent meta-analysis about the effect of mental fatigue on physical performance (Brown et al., 2020) showed that between-subjects designs lead to larger effect sizes than within-subjects designs. Consequently, we can conclude that we found the ego-depletion effect in the worst case, suggesting that our results are robust.

The second limit concerns the fact that we measured the affective valence of the control tasks during the second experiment, while we never assessed the affective valence of the depleting task. Thus, the depleting effect could be due to the negative affective change associated

with the unpleasant experience of performing the depleting task in comparison to the video task that did not elicit negative affective states. However, the negative valence associated with the depleting task could just be a product of the depletion of resources or increase in boredom and not a causal factor that participates in the occurrence of the ego-depletion effect. More research should be done to clarify this point.

The third limit concerns the fact that many participants were excluded from the first experiment (23%), mainly because they were exposed to unpredictable stressful events before the scheduled experimental session or did not respect the handgrip task instructions. The rate of exclusions considerably decreased during the third experiment (7%). This decrease of exclusions from experiment 1 to experiment 3 can be explained by better preparation of the participants before the beginning of the experimental sessions. For instance, concerning the handgrip endurance task, the experimenter controlled more frequently the position of the pointer within the target zone and told the participants to go back above the 12% line each time they passed below this line. In addition, experiment 3 started earlier in the academic semester to allow the experimenter to make a new appointment with a participant as soon as an unpredictable event changed his/her psychological and physiological states just before a session (e.g., a lack of sleep). With these methodological precautions, only participants whose performance was considered an outlier were excluded from experiment 3. However, to check the influence of the excluded participants on the results, we performed ANOVA with all the participants (excluded + included) in experiments 1 and 3. Results of both experiments remained the same.

The fourth limit concerns the problem of dissimilarity between the depleting task and the control task in the third experiment. The best control task would have been a task very similar to the depleting task but without any effortful component, *ceteris paribus*. The control task used in experiment 1 was conceived to play this role. However, a simple difference in the rule of responding between the two tasks increased boredom over time in the control task in comparison to the depleting task. The choice of an emotionally neutral documentary as the control task could also have had some methodological implications that affected the state of the subject. The video task and the incongruent Stroop tasks differed in at least two main aspects: (1) participants were active in the depleting task (saying a word every 2 s), while they were passive in the control task (watching a documentary); (2) there was a limited number of visual stimuli in the depleting task, whereas the stimuli constantly changed throughout the documentary. Even though these dissimilarities question the pertinence of the documentary as a good reference task, this task met two important criteria: it is not boring and requires little effort.

A fifth and final limit to our studies concerns the time between the mental task and the handgrip endurance task. In our experiments 1 and 3, participants answered to some questions about their feelings between the mental task and the handgrip task. However, the duration to complete this short list of questions was not fully standardized. Then some participants took more time to answer, whereas others were shorter (approximately the range was between 4 and 7 min). In their meta-analysis, Hagger et al. (2010) indicated that when participants have an intermediate period between the two tasks of the sequential protocol, used to complete questionnaires, perform a filler task or rest, the effect size of the ego depletion effect is greater ( $d = 0.71$ ) than when participants do not have such period ( $d = 0.47$ ). Then, it is possible that the duration of this period could have a moderating effect on the size of the ego-depletion effect. However, we think this limit did not weakened our results. In the first experiment, we had enough participants to randomize fast and slow answerers to both groups. In the third experiment, the comparison of the performance was made in the framework of a within-subjects design, and participants who took more time to answer during one session took more time to answer during the other. However, to be sure that the duration of the intermediate period between the depleting and the independent task does not influence the results, future experiments should standardized it by imposing a deadline for each response, when questions are used during this period.

### 5.5. Recommendations and perspectives for future research

In the current paper, we saw that the self-control trait predicts how participants will perform at the dependent task: the higher the self-control trait was, the better their performance at squeezing the hand-grip was. This result suggests that in the case of between-subjects design, it should be appropriate to measure and to control this trait to be sure that groups are homogeneous; otherwise, it could increase the type 1 or 2 error. For instance, if the depleting group had higher self-control trait, the size of the ego-depletion effect could decrease drastically and even become non-significant. A solution to deal with this issue would be to use a within-subjects design. Even if the effect size of the ego-depletion effect is larger in between-subjects designs when the dependent task requires physical performance, it is still significant in within-subjects designs with the same type of dependent task (Brown et al., 2020). Furthermore, the use of a within-subjects design with different sessions (and not just one) increases the statistical power and reduces the error variance of the statistical analysis aiming to challenge the ego-depletion effect (Francis et al., 2018).

In this article, the ego-depletion effect was replicated while using a 30-min effortful depleting task tapping two executive functions. Only few studies have paid attention to the duration and the executive control cost of the depleting task. Concerning the duration of the depleting task, Brown and Bray (2017) identified a threshold below which the ego-depletion effect is not observed: a duration of 6 min at exerting an effortful control. However, these authors showed that there is no dose-response effect and the amplitude of the ego depletion effect did not increase over time. In addition, the meta-analysis of Brown and collaborators showed that cognitive tasks lasting less than 30-min and more than 30-min have a similar moderate and significant negative effect on subsequent physical performance (Brown et al., 2020). However, very long tasks (more than 2 h) are rarely used and a study conducted by Blain et al. (2016) suggests that more than 6 h of effective and continuous work at performing tasks tapping executive functions without a break is necessary to obtain a significant effect of cognitive fatigue. It would be interesting to explore this other side of the time axis with very long work sessions lasting an entire day such as is the case in many labor situations.

To our knowledge, no study manipulated the cognitive load of the depleting task in a sequential task protocol. The sole manipulation consists of comparing the effortless control task to the effortful depleting task. However, several studies manipulated cognitive load and studied the effect of cognitive fatigue on performance as a function of time-on-task (e.g., Hopstaken et al., 2015). Future research should gradate more finely the amount of executive control required by the depleting task while controlling the boredom induced by each level of difficulty.

Another point that needs to be addressed in the future is the determination of the respective contribution of each explanatory mechanism in the ego-depletion effect. As mentioned earlier, the strength model of self-control (Baumeister et al., 1998, 2018) proposed that an internal resource is progressively depleted throughout the task. The hypothesis of blood glucose as a possible depletable resource, which comes from this model (Gailliot et al., 2007), has been challenged and severely criticized (e.g., Kurzban et al., 2013; Vadillo et al., 2016), and a more plausible internal resource needs to be identified. A recent model proposed by André et al. (2019) posits the connectivity of large-scale neuronal networks involved in effortful control and executive control, such as the salience network and the central executive network, as a possible resource that can be weakened through an intensive and long use of processing units involved in the exertion of control. In this framework, cognitive fatigue is viewed as an intrinsic cost that influences effort-based decision-making. Challenging this new model with the help of brain imaging and psychophysiology and examining how motivation varies with a weakening of these networks to exert control offers a heuristic direction for future studies.

Concerning the influence of self-control on sport performance and

exercise adherence, two main issues needs to be addressed in the next decade. First, considering that cognitive fatigue is viewed as a serious determinant of physical performance, it becomes urgent to examine the compensation or recovery processes allowing an athlete to overcome or decrease cognitive fatigue during a long sport event and to propose effective techniques allowing a maintenance of or a rapid return to the optimal level of performance. Second, considering that the capacity to exert self-control can be decreased by the exertion of a first effortful task, it would be interesting to examine how to increase this capacity with training to decrease or delay cognitive fatigue effects and to increase adherence to exercise. Several studies showed that the self-control capacity can be trained through several modalities (for a review, Audiffren et al., 2021), but few studies identified the most effective training programs and the most relevant characteristics of these programs.

### Open practices

The materials and the data of the three experiments can be found online at: [https://osf.io/tuay5/?view\\_only=c4e9c88a76a4eeca4d2aeb303280ff5](https://osf.io/tuay5/?view_only=c4e9c88a76a4eeca4d2aeb303280ff5).

### Funding source

This work was supported by the Regional Council of New-Aquitaine (AAPR2020F-2020-8595710).

### Declaration of competing interest

The authors declare no conflict of interest.

### Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2021.102033>.

### References

- Allom, V., Panetta, G., Mullan, B., & Hagger, M. S. (2016). Self-report and behavioural approaches to the measurement of self-control: Are we assessing the same construct? *Personality and Individual Differences*, *90*, 137–142. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2015.10.051>
- André, N., Audiffren, M., & Baumeister, R. F. (2019). An integrative model of effortful control. *Frontiers in Systems Neuroscience*, *13*(December), 1–22. <https://doi.org/10.3389/fnys.2019.00079>
- Audiffren, M., André, N., & Baumeister, R. (2021). *Training the will: Reducing costs and valuing effort*. Manuscript submitted for publication.
- Badin, O. O., Smith, M. R., Conte, D., & Coutts, A. J. (2016). Mental fatigue: Impairment of technical performance in small-sided soccer games. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *11*(8), 1100–1105. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2015-0710>
- Baumeister, R. F. (2005). The cultural animal. In *Social science information*, 90 Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195167030.001.0001>. Issue 1.
- Baumeister, R. F., Bratslavsky, E., Muraven, M., & Tice, D. M. (1998). Ego depletion: Is the active self a limited resource? *Journal of Personality and Social Psychology*, *74*(5), 1252–1265.
- Baumeister, R. F., Tice, D. M., & Vohs, K. D. (2018). The strength model of self-regulation: Conclusions from the second decade of willpower research. *Perspectives on Psychological Science*, *13*(2), 141–145. <https://doi.org/10.1177/1745691617716946>
- Baumeister, R. F., Vohs, K. D., & Tice, D. M. (2007). The strength model of self-control. *Current Directions in Psychological Science*, *16*(6), 351–355. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2007.00534.x>
- Bieleke, M., Barton, L., & Wolff, W. (2021). Trajectories of boredom in self-control demanding tasks. *Cognition & Emotion*. Advance online publication.
- Bishop, D. (2003). Warm up II. *Sports medicine*, *33*(7), 483–498. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333070-00002>
- Blain, B., Hollard, G., & Pessiglione, M. (2016). Neural mechanisms underlying the impact of daylong cognitive work on economic decisions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *113*(25), 6967–6972. <https://doi.org/10.1073/pnas.1520527113>
- Boat, R., Hunte, R., Welsh, E., Dunn, A., Treadwell, E., & Cooper, S. B. (2020). Manipulation of the duration of the initial self-control task within the sequential-task paradigm: Effect on exercise performance. *Frontiers in Neuroscience*, *14*, Article 571312. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.571312>

- Boat, Ruth, & Taylor, Ian, M. (2017). Prior self-control exertion and perceptions of pain during a physically demanding task. *Psychology of Sport and Exercise*, 33, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2017.07.005>
- Boksem, M. A. S., Meijman, T. F., & Lorist, M. M. (2005). Effects of mental fatigue on attention: An ERP study. *Cognitive Brain Research*, 25, 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.04.011>
- Boksem, M. A. S., & Tops, M. (2008). Mental fatigue: Costs and benefits. *Brain Research Reviews*, 59, 125–139. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2008.07.001>
- Borg, E., & Kaijser, L. (2006). A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 16(1), 57–69. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00448.x>
- Bradley, M., & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: The self-assessment semantic differential manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 25(1), 49–59. [https://doi.org/10.1016/0005-7916\(94\)90063-9](https://doi.org/10.1016/0005-7916(94)90063-9)
- Brown, D. M., & Bray, S. R. (2017). Graded increases in cognitive control exertion reveal a threshold effect on subsequent physical performance. *Sport, Exercise, and Performance Psychology*, 6(4), 355. <https://doi.org/10.1037/spy0000091>
- Brown, D. M. Y., & Bray, S. R. (2019). Effects of mental fatigue on exercise intentions and behavior. *Annals of Behavioral Medicine*, 53(5), 405–414. <https://doi.org/10.1093/abm/kay052>
- Brown, D. M. Y., Graham, J. D., Innes, K. L., Harris, S., Flemington, A., & Bray, S. R. (2020). Effects of prior cognitive exertion on physical performance: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 50, 497–529. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01204-8>
- Buckley, J., Cohen, J. D., Kramer, A. F., McAuley, E., & Mullen, S. P. (2014). Cognitive control in the self-regulation of physical activity and sedentary behavior. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 747. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00747>
- Carter, E. C., Kofler, L. M., Forster, D. E., & McCullough, M. E. (2015). A series of meta-analytic tests of the depletion effect: Self-control does not seem to rely on a limited resource. *Journal of Experimental Psychology: General*, 144(4), 796–815. <https://doi.org/10.1037/xge0000083>
- Chaudhuri, A., & Behan, P. O. (2004). Fatigue in neurological disorders. *Lancet*, 363, 978–988. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(04\)15794-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(04)15794-2)
- Dang, J. (2018). An updated meta-analysis of the ego depletion effect. *Psychological Research*, 82, 645–651. <https://doi.org/10.1007/s00426-017-0862-x>
- Dang, J., Barker, P., Baumert, A., Bentvelzen, M., Berkman, E., Buchholz, N., Buczny, J., Chen, Z., De Cristofaro, V., de Vries, L., Dewitte, S., Giacomantonio, M., Gong, R., Homan, M., Imhoff, R., Ismail, I., Jia, L., Kubiak, T., Lange, F., & Zinkernagel, A. (2021). A multilab replication of the ego depletion effect. *Social Psychological and Personality Science*, 12(1), 14–24. <https://doi.org/10.1177/1948550619887702>
- De Ridder, D. T. D., Lensvelt-Mulders, G., Finkenauer, C., Stok, F. M., & Baumeister, R. F. (2012). Taking stock of self-control: A meta-analysis of how trait self-control relates to a wide range of behaviors. *Personality and Social Psychology Review*, 16, 76–99. <https://doi.org/10.1177/1088868311418749>
- DeWall, C. N., Baumeister, Roy, F., Stillman, Tyler, F., & Gailliot, Matthew, T. (2007). Violence restrained: Effects of self-regulation and its depletion on aggression. *Journal of Experimental Social Psychology*, 43(1), 62–76. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2005.12.005>
- DeWall, C. N., Finkel, E. J., & Denson, T. F. (2011). Self-control inhibits aggression. *Social and Personality Psychology Compass*, 5(7), 458–472. <https://doi.org/10.1111/j.1751-9004.2011.00363.x>
- Dulaney, C. L., & Rogers, W. A. (1994). Mechanisms underlying reduction in Stroop interference with practice for young and old adults. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20(2), 470–484. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.20.2.470>
- Eastwood, J. D., Frischen, A., Fenske, M. J., & Smilek, D. (2012). The unengaged mind: Defining boredom in terms of attention. *Perspectives on Psychological Science*, 7(5), 482–495. <https://doi.org/10.1177/1745691612456044>
- Englert, C. (2016). The strength model of self-control in sport and exercise psychology. *Frontiers in Psychology*, 7, 314. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00314>
- Englert, C. (2017). Ego depletion in sports: Highlighting the importance of self-control strength for high-level sport performance. *Current Opinion in Psychology*, 16, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2017.02.028>
- Englert, C., Pageaux, B., & Wolff, W. (2020, November 27). Self-control in sports. <https://doi.org/10.51224/B1022>
- Etherton, J. L., Osborne, R., Stephenson, K., Grace, M., Jones, C., & De Nadai, A. S. (2018). Bayesian analysis of multimethod ego-depletion studies favours the null hypothesis. *British Journal of Social Psychology*, 57(2), 367–385. <https://doi.org/10.1111/bjso.12236>
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G\*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175–191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>
- Fischer, P., Kastenmüller, A., & Asak, K. (2012). Ego depletion increases risk-taking. *The Journal of Social Psychology*, 152(5), 623–638. <https://doi.org/10.1080/00224545.2012.683894>
- Francis, Z., Milyavskaya, M., Lin, H., & Inzlicht, M. (2018). Development of a within-subject, repeated-measures ego-depletion paradigm: Inconsistent results and future recommendations. *Social Psychology*, 49(5), 271–286. <https://doi.org/10.1027/1864-9335/a000348>
- Gailliot, M. T., Baumeister, R. F., Dewall, C. N., Maner, J. K., Plant, E. A., Tice, D. M., Brewer, L. E., & Schmeichel, B. J. (2007). Self-control relies on glucose as a limited energy source: Willpower is more than a metaphor. *Journal of Personality and Social Psychology*, 92(2), 325–336. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.92.2.325>
- Gerdtham, U.-G., Wengström, E., & Wickström Östervall, L. (2020). Trait self-control, exercise and exercise ambition: Evidence from a healthy, adult population. *Psychology Health & Medicine*, 25, 583–592. <https://doi.org/10.1080/13548506.2019.1653475>
- Giboin, L.-S., & Wolff, W. (2019). The effect of ego depletion or mental fatigue on subsequent physical endurance performance: A meta-analysis. *Performance Enhancement & Health*, 7(1–2), Article 100150. <https://doi.org/10.1016/j.peh.2019.100150>
- Guo, Z., Chen, R., Liu, X., Zhao, G., Zheng, Y., Gong, M., & Zhang, J. (2018). The impairing effects of mental fatigue on response inhibition: An ERP study. *PLoS ONE*, 13(6), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198206>
- Hagger, M. S., Chatzisarantis, N. L. D., Alberts, H., Anggono, C. O., Batailler, C., Birt, A. R., Brand, R., Brandt, M. J., Brewer, G. A., Bruyneel, S., Calvillo, D. P., Campbell, W. K., Cannon, P. R., Carlucci, M., Carruth, N. P., Cheung, T. T. L., Crowell, A., De Ridder, D. T. D., Dewitte, S., & Zwiennenberg, M. (2016). A multilab preregistered replication of the ego-depletion effect. *Perspectives on Psychological Science*, 11(4), 546–573. <https://doi.org/10.1177/1745691616652873>
- Hagger, M. S., Wood, C. W., Stiff, C., & Chatzisarantis, N. L. D. (2010a). Self-regulation and self-control in exercise: The strength-energy model. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 3(1), 62–86. <https://doi.org/10.1080/17509840903322815>
- Hagger, M. S., Wood, C., Stiff, C., & Chatzisarantis, N. L. D. (2010b). Ego depletion and the strength model of self-control: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 136(4), 495–525. <https://doi.org/10.1037/a0019486>
- Handayani, D., Wahab, A., & Yaacob, H. (2015). Recognition of emotions in video clips: The self-assessment manikin validation. *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 13(4), 1343–1351. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v13i4.2735>
- Head, J., Tenan, M. S., Tweedell, A. J., LaFiandra, M. E., Morelli, F., Wilson, K. M., Ortega, S. V., & Helton, W. S. (2017). Prior mental fatigue impairs marksmanship decision performance. *Frontiers in Physiology*, 8(SEP), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00680>
- Hofmann, W., Schmeichel, B. J., & Baddeley, A. D. (2012). Executive functions and self-regulation. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(3), 174–180. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.01.006>
- Holgado, D., Sanabria, D., Perales, J., & Vadillo, M. (2020). Mental Fatigue Might Be Not So Bad for Exercise Performance After All: A Systematic Review and Bias-Sensitive Meta-Analysis. *Journal of Cognition*, 3(1). <https://doi.org/10.5334/joc.126>
- Hopstaken, J. F., van der Linden, D., Bakker, A. B., & Kompier, M. A. J. (2015). A multifaceted investigation of the link between mental fatigue and task disengagement. *Psychophysiology*, 52(3), 305–315. <https://doi.org/10.1111/psyp.12339>
- Huynh, H., & Feldt, L. S. (1976). Estimation of the Box correction for degrees of freedom from sample data in randomized block and split-plot designs. *Journal of Educational Statistics*, 1(1), 69–82. <https://doi.org/10.3102/10769986001001069>
- Inzlicht, M., & Berkman, E. (2015). Six Questions for the Resource Model of Control (And Some Answers). *SSRN Electronic Journal*, 10, 511–524. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2579750>
- Inzlicht, M., & Schmeichel, B. J. (2012). What is ego depletion? Toward a mechanistic revision of the resource model of self-control. *Perspectives on Psychological Science*, 7(5), 450–463. <https://doi.org/10.1177/1745691612454134>
- Inzlicht, M., Schmeichel, B. J., & Macrae, C. N. (2014). Why self-control seems (but may not be) limited. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(3), 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.12.009>
- Kelsey, R. M. (2012). Beta-adrenergic cardiovascular reactivity and adaptation to stress: The cardiac pre-ejection period as an index of effort. In *How motivation affects cardiovascular response: Mechanisms and applications* (pp. 43–60). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/13090-002>
- Kornblum, S., Hasbroucq, T., & Osman, A. (1990). Dimensional overlap: Cognitive basis for stimulus-response compatibility-A model and taxonomy. *Psychological Review*, 97(2), 253–270. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.97.2.253>
- Kurzban, R., Duckworth, A., Kable, J. W., & Myers, J. (2013). An opportunity cost model of subjective effort and task performance. *Behavioral and Brain Sciences*, 36(6), 661–679. <https://doi.org/10.1017/S0140525X12003196>
- Landman, A., Nieuwenhuys, A., & Oudejans, R. R. D. (2015). Decision-related action orientation predicts police officers' shooting performance under pressure. *Anxiety, Stress & Coping*, 29, 1–10. <https://doi.org/10.1080/10615806.2015.1070834>
- Leys, C., Ley, C., Klein, O., Bernard, P., & Licata, L. (2013). Detecting outliers: Do not use standard deviation around the mean, use absolute deviation around the median. *Journal of Experimental Social Psychology*, 49(4), 764–766. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2013.03.013>
- Lindner, C., Nagy, G., & Retelsdorf, J. (2018). The need for self-control in achievement tests: Changes in students' state self-control capacity and effort investment. *Social Psychology of Education*, 21, 1113–1131. <https://doi.org/10.1007/s11218-018-9455-9>
- Lorist, M. M. (2008). Impact of top-down control during mental fatigue. *Brain Research*, 1232, 113–123. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2008.07.053>
- Lurquin, J. H., Michaelson, L. E., Barker, J. E., Gustavson, D. E., Von Bastian, C. C., Carruth, N. P., & Miyake, A. (2016). No evidence of the ego-depletion effect across task characteristics and individual differences: A pre-registered study. *PLoS One*, 11(2), 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147770>
- MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review. *Psychological Bulletin*, 109(2), 163–203. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.109.2.163>
- MacMahon, C., Hawkins, Z., & Schücker, L. (2019). Beep test performance is influenced by 30 minutes of cognitive work. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51(9), 1928–1934. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001982>

- Mägi, K., Kikas, E., & Soodla, P. (2018). Effortful control, task persistence, and reading skills. *Journal of Applied Developmental Psychology, 54*(November 2017), 42–52. <https://doi.org/10.1016/j.appdev.2017.11.005>
- Marcora, S. M., Staiano, W., & Manning, V. (2009). Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of Applied Physiology, 106*(3), 857–864. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.91324.2008>
- Martin Ginis, K. A., & Bray, S. R. (2010). Application of the limited strength model of self-regulation to understanding exercise effort, planning and adherence. *Psychology and Health, 25*(10), 1147–1160. <https://doi.org/10.1080/08870440903111696>
- May, K., & Hittner, J. B. (2012). Effect of correlation on power in within-subjects versus between-subjects designs. *Comprehensive Psychology, 1*. <https://doi.org/10.2466/03.it.1.3.03.IT.1.3>
- McMorris, T., Barwood, M., Hale, B. J., Dicks, M., & Corbett, J. (2018). Cognitive fatigue effects on physical performance: A systematic review and meta-analysis. *Physiology and Behavior, 188*, 103–107. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.01.029>
- Milyavskaya, M., Inzlicht, M., Johnson, T., & Larson, M. J. (2019). Reward sensitivity following boredom and cognitive effort: A high-powered neurophysiological investigation. *Neuropsychologia, 123*, 159–168. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.03.033>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology, 41*, 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Muraven, M., & Baumeister, R. F. (2000). Self-regulation and depletion of limited resources: Does self-control resemble a muscle? *Psychological Bulletin, 126*(2), 247–259. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.126.2.247>
- Muraven, M., Collins, R. L., & Nienhaus, K. (2002). Self-control and alcohol restraint: An initial application of the self-control strength model. *Psychology of Addictive Behaviors, 16*(2), 113–120. <https://doi.org/10.1037/0893-164X.16.2.113>
- Muraven, M., Collins, R. L., Shifman, S., & Paty, J. A. (2005). Daily fluctuations in self-control demands and alcohol intake. *Psychology of Addictive Behaviors, 19*, 140–147. <https://doi.org/10.1037/0893-164X.19.2.140>
- Muraven, M., & Slessareva, E. (2003). Mechanisms of Self-Control Failure: Motivation and Limited Resources. *Personality and Social Psychology Bulletin, 29*(7), 894–906. <https://doi.org/10.1177/0146167203029007008>
- Nicolò, A., Sacchetti, M., Girardi, M., McCormick, A., Angius, L., Bazzucchi, I., & Marcora, S. M. (2019). A comparison of different methods to analyse data collected during time-to-exhaustion tests. *Sport Sciences for Health, 15*(3), 667–679. <https://doi.org/10.1007/s11332-019-00585-7>
- O'Connor, P. J., & Cook, D. B. (2001). Moderate-intensity muscle pain can be produced and sustained during cycle ergometry. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 33*(6), 1046–1051. <https://doi.org/10.1097/00005768-200106000-00026>
- Osgood, J. M. (2017). Effect of ego-depletion typing task on Stroop does not extend to diverse online sample. *Journal of Articles in Support of the Null Hypothesis, 13*(2), 83–90.
- Pageaux, B., & Lepers, R. (2018). The effects of mental fatigue on sport-related performance. In S. Marcora, M. B. T. P., & B. R. Sarkar (Eds.), *Sport and the brain: The science of preparing, enduring and winning*, 240 pp. 291–315. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2018.10.004>. Part C.
- Pageaux, B., Lepers, R., Dietz, K. C., & Marcora, S. M. (2014). Response inhibition impairs subsequent self-paced endurance performance. *European Journal of Applied Physiology, 114*(5), 1095–1105. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2838-5>
- Pageaux, B., Marcora, S. M., & Lepers, R. (2013). Prolonged mental exertion does not alter neuromuscular function of the knee extensors. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 45*(12), 2254–2264. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31829b504a>
- Pageaux, Benjamin (2016). Perception of effort in exercise science: definition, measurement and perspectives. *European Journal of Sport Science, 16*(8), 885–894. <https://doi.org/10.1080/17461391.2016.1188992>
- Penna, E. M., Filho, E., Wanner, S. P., Campos, B. T., Quinan, G. R., Mendes, T. T., Smith, M. R., & Prado, L. S. (2018). Mental fatigue impairs physical performance in young swimmers. *Pediatric Exercise Science, 30*(2), 208–215. <https://doi.org/10.1123/pes.2017-0128>
- Richter, M., Gendolla, G. H. E., & Wright, R. A. (2016). Three decades of research on motivational intensity theory. In *Advances in motivation science*, 3Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/bs.adms.2016.02.001>
- Schmeichel, B. J., & Vohs, K. D. (2009). Self-Affirmation and Self-Control: Affirming Core Values Counteracts Ego Depletion. *Journal of Personality and Social Psychology, 96*(4), 770–782. <https://doi.org/10.1037/a0014635>
- Seeley, W. W., Menon, V., Schatzberg, A. F., Keller, J., Glover, G. H., Kenna, H., Reiss, A. L., & Greicius, M. D. (2007). Dissociable intrinsic connectivity networks for salience processing and executive control. *Journal of Neuroscience, 27*(9), 2349–2356. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5587-06.2007>
- Shenhav, A., Musslick, S., Lieder, F., Kool, W., Griffiths, T. L., Cohen, J. D., & Botvinick, M. M. (2017). Toward a rational and mechanistic account of mental effort. *Annual Review of Neuroscience, 40*(1), 99–124. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-072116-031526>
- Silvestrini, N., & Rainville, P. (2013). After-effects of cognitive control on pain. *European Journal of Pain (United Kingdom), 17*(8), 1225–1233. <https://doi.org/10.1002/j.1532-2149.2013.00299.x>
- Smith, M. R., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2015). Mental fatigue impairs intermittent running performance. In *Medicine and science in sports and exercise*, 47. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000592>. Issue 8.
- Stocker, E., Seiler, R., Schmid, J., & Englert, C. (2020). Hold your strength! Motivation, attention, and emotion as potential psychological mediators between cognitive and physical self-control. *Sport, Exercise, and Performance Psychology, 9*(2), 167–182. <https://doi.org/10.1037/spy0000173>
- Tangney, J. P., Baumeister, R. F., & Boone, A. L. (2004). Tangney, Baumeister and Boone (2008) High self-control predicts good adjustment, less pathology, better grades, and interpersonal success.pdf. *Journal of Personality, 2*(April 2004), 54.
- Toering, T., & Jordet, G. (2015). Self-control in professional soccer players. *Journal of Applied Sport Psychology, 27*, 335–350. <https://doi.org/10.1080/10413200.2015.1010047>
- Umemoto, A., Inzlicht, M., & Holroyd, C. B. (2019). Electrophysiological indices of anterior cingulate cortex function reveal changing levels of cognitive effort and reward valuation that sustain task performance. *Neuropsychologia, 123*(October 2017), 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.06.010>
- Vadillo, M. A. (2019). Ego Depletion May Disappear by 2020. *Social Psychology, 50*, 282–291. <https://doi.org/10.1027/1864-9335/a000375>
- Vadillo, M. A., Gold, N., & Osman, M. (2016). The bitter truth about sugar and willpower: The limited evidential value of the glucose model of ego depletion. *Psychological Science, 27*(9), 1207–1214. <https://doi.org/10.1177/0956797616654911>
- Van Cutsem, J., Marcora, S., De Pauw, K., Bailey, S., Meeusen, R., & Roelands, B. (2017). The Effects of Mental Fatigue on Physical Performance: A Systematic Review. *Sports Medicine, 47*(8), 1569–1588. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0672-0>
- Vohs, K. D., Baumeister, R. F., Schmeichel, B. J., Twenge, J. M., Nelson, N. M., & Tice, D. M. (2008). Making choices impairs subsequent self-control: A limited-resource account of decision making, self-regulation, and active initiative. *Journal of Personality and Social Psychology, 94*(5), 883–898. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.94.5.883>
- Westgate, E. C., & Wilson, T. D. (2018). Boring thoughts and bored minds: The MAC model of boredom and cognitive engagement. *Psychological Review, 125*(5), 689–713. <https://doi.org/10.1037/rev0000097>
- Wewers, M. E., & Lowe, N. K. (1990). A critical review of visual analogue scales in the measurement of clinical phenomena. *Research in Nursing & Health, 13*(4), 227–236. <https://doi.org/10.1002/nur.4770130405>
- Wimmer, M. C., Dome, L., Hancock, P. J. B., & Wennekers, T. (2019). Is the letter cancellation task a suitable index of ego depletion?: Empirical and conceptual issues. *Social Psychology, 50*(5–6), 345–354. <https://doi.org/10.1027/1864-9335/a000393>
- Wolff, W., Baumann, L., & Englert, C. (2018). Self-reports from behind the scenes: Questionable research practices and rates of replication in ego depletion research. *PLoS One, 13*(6), 1–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199554>
- Wolff, W., Bieleke, M., Stähler, J., & Schüler, J. (2021). Too bored for sports? Adaptive and less-adaptive latent personality profiles for exercise behavior. *Psychology of Sport and Exercise, 53*. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2020.101851>
- Wolff, W., & Martarelli, C. S. (2020). Bored into depletion? Toward a tentative integration of perceived self-control exertion and boredom as guiding signals for goal-directed behavior. *Perspectives on Psychological Science, 15*(5), 1272–1283. <https://doi.org/10.1177/17456916209213>
- Wolff, W., Sieber, V., Bieleke, M., & Englert, C. (2019). Task duration and task order do not matter: No effect on self-control performance. *Psychological Research. https://doi.org/10.1007/s00426-019-01230-1*
- Wright, R. A. (2014). Presidential address 2013: Fatigue influence on effort-considering implications for self-regulatory restraint. *Motivation and Emotion, 38*(2), 183–195. <https://doi.org/10.1007/s11031-014-9406-5>
- Xu, X., Demos, K. E., Leahey, T. M., Hart, C. N., Trautvetter, J., Coward, P., Middleton, K. R., & Wing, R. R. (2014). Failure to replicate depletion of self-control. *PLoS One, 9*(10), 1–5. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109950>

