

Quelle est l'influence d'une activité physique, conjointe à la réalisation d'une tâche cognitive, sur la fatigue (subjective et objective) ?

Auteur : Mentior, Flora

Promoteur(s) : Collette, Fabienne

Faculté : Faculté de Psychologie, Logopédie et Sciences de l'Éducation

Diplôme : Master en sciences psychologiques, à finalité spécialisée

Année académique : 2025-2026

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/26620>

Avertissement à l'attention des usagers :

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

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

Quelle est l'influence d'une activité physique, conjointe à la réalisation d'une tâche cognitive, sur la fatigue (subjective et objective) ?

Mémoire en vue de l'obtention du grade de master en sciences psychologiques

MENTIOR Flora s202239

Promotrice : COLLETTE Fabienne

Superviseurs : CHARONITIS Maëlle, READ John

Lecteurs : SCHWARTZ Cédric et WANSARD Murielle

Année académique 2025-2026

Remerciements

Je remercie tout d'abord Madame COLLETTE Fabienne, promotrice de ce mémoire et à l'origine, en collaboration avec Monsieur SCHWARTZ Cédric, de ce projet passionnant. Je la remercie également de m'avoir permis de travailler sur cette thématique.

Je tiens également à remercier Madame WANSARD Murielle pour l'intérêt porté à mon travail.

Je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères à READ John et CHARONITIS Maëlle, superviseurs de ce travail, pour leur implication, leur disponibilité et leurs conseils tout au long de sa réalisation. Je tiens à leur exprimer ma reconnaissance pour le temps qu'ils m'ont consacré, leur écoute et leur accompagnement, qui m'ont été particulièrement précieux dans l'élaboration de ce mémoire. Leur aide et leur disponibilité m'ont énormément soutenue, tant lors des sessions de testing que dans l'analyse et la compréhension de mon travail.

Je remercie également PIERARD Alexandre pour sa présence et son aide lors des sessions de test.

Je suis reconnaissante envers les participants qui ont accepté de prendre part à cette étude malgré des emplois du temps chargés, et sans lesquels ce travail n'aurait pas pu être réalisé.

Enfin, j'adresse une pensée toute particulière à ma famille et à mes amis pour leur soutien, leurs encouragements et leur présence tout au long de ces années d'études. Leur bienveillance, leur soutien ainsi que leurs conseils m'ont été précieux dans l'aboutissement de ce mémoire.

Index des tableaux et des figures

Tableaux :

Tableau 1. Caractéristiques générales des participants	17
Tableau 2. ANOVA à mesures répétées 2 (condition : simple vs combinée) x 5 (temps : bloc 0 vs bloc 1 vs bloc 2 vs bloc 3 vs bloc 4) VAS	27
Tableau 3. ANOVA à mesures répétées 2 (condition : simple vs combinée) x 4 (temps : bloc 1 vs bloc 2 vs bloc 3 vs bloc 4) TLDB	29
Tableau 4. Corrélations entre les dimensions NASA-TLX et les variations de fatigue subjective et de performance cognitive en condition simple	31
Tableau 5. Corrélations entre les dimensions NASA-TLX et les variations de fatigue subjective et de performance cognitive en condition combinée	32

Figures :

Figure 1. Schéma conceptuel de la fatigue induite par une tâche cognitive ou physique, inspiré de Behrens et al. (2023).....	5
Figure 2. Schéma de la procédure expérimentale.....	20
Figure 3. Illustration de la tâche "Time Load Dual Back"	21
Figure 4. Illustration de la condition combinée.....	23
Figure 5. Estimation des moyennes marginales de l'évolution de la fatigue subjective en fonction des deux conditions (simple et combinée)	28
Figure 6. Estimation des moyennes marginales de l'évolution des performances à la TLDB en fonction des deux conditions (simple et combinée)	30

Liste des annexes

Annexe 1. Questionnaire NASA-TLX.....	50
Annexe 2. Résultats post-hoc pour l'effet principal du Temps de l'hypothèse 1	51
Annexe 3. Résultats estimation des moyennes marginales de l'évolution de la fatigue subjective en fonction des deux conditions (simple et combiné)	51
Annexe 4. Résultats post-hoc pour l'effet principal du Temps de l'hypothèse 2	52
Annexe 5. Résultats estimation des moyennes marginales de l'évolution des performances à la TLDB en fonction des deux condition (simple et combinée)	52
Annexe 6. Grille d'utilisation de l'intelligence artificielle	53

Table des matières

1. Introduction générale	1
2. Revue de la littérature	2
2.1. La fatigue : un phénomène universel et multidimensionnel	2
2.2. Définition et distinction conceptuelles de la fatigue	3
2.2.1. <i>Fatigue mentale et fatigue physique</i>	3
2.2.2. <i>Fatigue subjective et fatigabilité</i>	5
2.2.3. <i>Enjeux pour la recherche</i>	7
2.3. Modèles explicatifs de la fatigue	7
2.4. Effets des tâches cognitives et de la fatigue mentale.....	9
2.5. Interaction entre activité physique et tâche cognitive.....	11
2.6. Manque dans la littérature et justification de l'étude.....	13
3. Hypothèses et objectifs principaux	15
4. Méthode.....	16
4.1. Participants.....	16
4.2. Design expérimental	18
4.3. Procédure expérimentale	19
4.4. Matériel et mesures.....	20
4.4.1. <i>Time Load Dual Back</i>	20
4.4.2. <i>Échelles visuelles analogiques</i>	21
4.4.3. <i>Condition combinée</i>	22
4.4.4. <i>Évaluation de la charge de travail : NASA-TLX</i>	23
4.5. Analyses statistiques	24
5. Résultats	26
5.1. Hypothèse 1 – Est-ce qu'une tâche cognitive soutenue entraîne une augmentation progressive de l'expérience subjective de fatigue au cours de la tâche, et cette évolution varie-t-elle selon que la tâche est réalisée seule ou simultanément à un exercice physique ?	26
5.2. Hypothèse 2 – La fatigue subjective s'accompagne-t-elle d'une altération des performances objectives à la tâche, et cette relation varie-t-elle selon que la tâche est réalisée seule ou simultanément à un exercice physique ?	29
5.3. Hypothèse 3 – Certaines dimensions de la charge de travail perçue, évaluées à l'aide du questionnaire NASA-TLX (exigence mentale et exigence physique), devraient être associées à l'évolution de la fatigue subjective et des performances au cours de la tâche.....	31
6. Discussion	33
6.1. Interprétation de la fatigue subjective.....	33

6.2.	Interprétation de la fatigue objective	35
6.3.	Relation entre fatigue subjective et objective	36
6.4.	Effet de la condition combinée	37
6.5.	Charge de travail perçue et fatigue.....	38
6.6.	Limites de l'étude.....	40
6.7.	Perspectives de recherches futures	41
7.	Conclusion générale.....	43
8.	Bibliographie.....	46
9.	Annexes	50
10.	Résumé	54

1. Introduction générale

La fatigue est une expérience universelle, ressentie par tout individu confronté à un effort prolongé, qu'il soit mental ou physique. Elle se manifeste par une diminution temporaire des capacités et une augmentation du ressenti d'effort, influençant la performance et la motivation à poursuivre une tâche (Boksem & Tops, 2008 ; Marcora et al., 2009). Bien que familière au quotidien, la fatigue reste un concept complexe, aux dimensions multiples, qui ne fait pas l'objet d'une définition scientifique consensuelle.

On distingue généralement deux grandes formes de fatigue. La fatigue mentale, ou aussi appelée fatigue cognitive, qui résulte d'un engagement prolongé dans des tâches exigeantes en attention, contrôle cognitif et prise de décision. Elle se traduit par une augmentation de la perception d'effort, une baisse de vigilance, et peut réduire la performance, notamment lors d'exercices d'endurance physiques (Van Cutsem et al., 2017 ; Marcora et al., 2009). La fatigue physique, quant à elle, découle d'un effort musculaire prolongé ou intense et peut se traduire par une baisse mesurable de la force, de l'endurance ou de la puissance, associée à une augmentation du ressenti d'effort.

Des travaux récents suggèrent que ces deux formes de fatigue ne sont pas indépendantes, mais peuvent interagir de manière complexe. Ainsi, la réalisation simultanée d'une activité physique et d'une tâche cognitive peut amplifier la perception de fatigue et moduler les performances dans chaque domaine (Müller & Apps, 2019 ; Matthews et al., 2023). Cependant, la littérature reste limitée sur les effets combinés de ces efforts, et les résultats disponibles sont parfois contradictoires. De plus, peu d'études prennent en compte de manière simultanée la dimension subjective et les mesures objectives de performance, ce qui complique la compréhension des mécanismes sous-jacents.

Dans ce contexte, il apparaît essentiel d'examiner l'influence d'une activité physique conjointe à la réalisation d'une tâche cognitive sur la fatigue, tant subjective qu'objective. Le présent mémoire s'inscrit dans cette perspective, en visant à clarifier comment ces deux formes d'effort interagissent, et à identifier les déterminants perceptifs, cognitifs et motivationnels de la fatigue dans des situations proches de la réalité quotidienne ou sportive. L'objectif est de contribuer à une meilleure compréhension des interactions entre fatigue mentale et fatigue

physique, afin de guider la conception de protocoles d'entraînement, d'activités professionnelles ou d'interventions visant à optimiser la performance et la sécurité dans des contextes exigeants.

2. Revue de la littérature

2.1. La fatigue : un phénomène universel et multidimensionnel

La fatigue constitue une expérience universelle, rencontrée dans une grande variété de contextes, allant des activités quotidiennes aux situations professionnelles exigeantes, en passant par les environnements sportifs. Bien qu'elle soit familière à tous, sa compréhension scientifique demeure partielle, en raison de sa nature complexe, dynamique et multidimensionnelle. En effet, la fatigue ne peut être réduite à une simple sensation de manque d'énergie ni à une baisse de performance. Elle correspond à un état résultant de l'interaction de facteurs physiologiques, cognitifs, émotionnels et motivationnels (Phillips, 2015 ; Behrens et al., 2023).

Selon Phillips (2015), la fatigue peut être définie comme un état psychobiologique induit par un effort prolongé, caractérisé par une diminution de la capacité à maintenir un niveau de performance donné. Cette définition met en évidence deux éléments essentiels. D'une part, la relation entre fatigue et effort. D'autre part, son impact sur la régulation de la performance. Toutefois, cette approche reste incomplète si elle n'intègre pas la dimension subjective de la fatigue, c'est-à-dire le ressenti individuel associé à cet état.

Dans une perspective plus récente et intégrative, Behrens et al. (2023) proposent de considérer la fatigue comme un mécanisme adaptatif. Selon ce cadre, la fatigue ne serait pas uniquement le reflet d'un épuisement des ressources, mais plutôt un signal régulateur visant à ajuster l'engagement dans l'effort afin de préserver l'intégrité de l'organisme. Cette approche s'inscrit dans une vision fonctionnelle de la fatigue, où celle-ci participe à la prise de décision concernant la poursuite ou l'arrêt d'une activité.

Cette conception est renforcée par les travaux en neurosciences et en psychologie cognitive, qui soulignent le rôle central des processus d'évaluation coût-bénéfice dans la fatigue (Müller & Apps, 2019 ; Matthews et al., 2023). Lorsque l'effort requis pour maintenir une activité est perçu comme trop élevé au regard des bénéfices attendus, l'individu est plus

susceptible de réduire son engagement. Ainsi, la fatigue peut être comprise comme un signal subjectif traduisant une augmentation du coût perçu de l'effort.

Par ailleurs, la fatigue présente une forte variabilité interindividuelle. A effort égal, certaines personnes rapportent un niveau de fatigue plus élevé que d'autres. Cette variabilité s'explique par l'influence de nombreux facteurs, tels que la motivation, les attentes, l'état émotionnel, le niveau de condition physique ou encore le contexte environnemental (Boksem & Tops, 2008 ; Kuppuswamy, 2017). Elle souligne la nécessité d'adopter une approche multidimensionnelle et intégrative pour étudier ce phénomène.

Enfin, la fatigue s'inscrit dans une dynamique temporelle. Elle peut apparaître de manière aiguë à la suite d'un effort ponctuel, mais également s'installer de manière progressive lors d'activités prolongées. Cette dimension temporelle est essentielle pour comprendre les mécanismes de régulation de l'effort et leurs conséquences sur la performance.

Ainsi, loin d'être un concept unidimensionnel, la fatigue apparaît comme un phénomène complexe, impliquant des interactions constantes entre le corps et l'esprit. Cette complexité justifie l'intérêt de distinguer ses différentes formes et dimensions, afin d'en améliorer la compréhension et l'évaluation.

2.2.Définition et distinction conceptuelles de la fatigue

La compréhension de la fatigue nécessite de clarifier un ensemble de concepts souvent utilisés de manière interchangeable dans la littérature. Cette hétérogénéité terminologique constitue un obstacle majeur à la comparaison des études et à l'élaboration de modèles explicatifs cohérents. Deux distinctions apparaissent particulièrement essentielles : celle entre fatigue mentale et fatigue physique, et celle entre fatigue subjective et fatigabilité.

2.2.1. Fatigue mentale et fatigue physique

La fatigue est classiquement divisée en deux grandes catégories selon la nature de l'effort impliqué : la fatigue mentale et la fatigue physique (Van Cutsem et al., 2017). La fatigue mentale est généralement définie comme un état psychobiologique résultant d'un effort cognitif

prolongé et soutenu. Elle se manifeste par une diminution de la vigilance, une baisse de la motivation, une altération des fonctions exécutives ainsi qu'un sentiment accru de fatigue (Boksem & Tops, 2008 ; Pattyn et al., 2018). Elle est typiquement induite par des tâches nécessitant une attention continue, un contrôle inhibiteur ou une prise de décision répétée.

À l'inverse, la fatigue physique résulte d'un effort musculaire prolongé ou intense et se traduit par une diminution des capacités de production de force ou d'endurance. Elle est associée à des mécanismes périphériques (au niveau musculaire) mais également centraux (au niveau du système nerveux central) (Boyas & Guével, 2011). Cette distinction repose donc initialement sur la nature des systèmes sollicités : cognitif pour la fatigue mentale, neuromusculaire pour la fatigue physique.

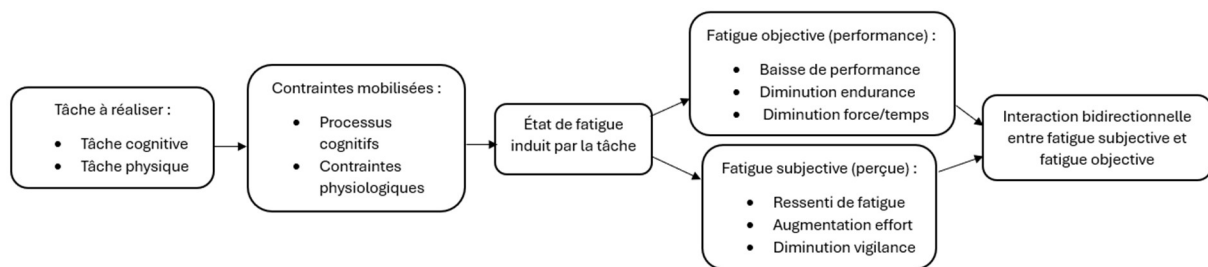
Cependant, cette séparation doit être nuancée. De plus en plus de travaux suggèrent que ces deux formes de fatigue ne sont pas indépendantes, mais qu'elles interagissent au sein d'un système intégré. Behrens et al. (2023) proposent une approche unifiée dans laquelle la fatigue n'est plus définie comme « mentale » ou « physique » en soi, mais comme un état de fatigue induit par une tâche, cognitive ou physique. Dans ce cadre, ce qui varie est le type de tâche sollicitée (motrice vs cognitive), tandis que les dimensions de la fatigue (perception de fatigue et performances) restent interdépendantes et dépendantes des caractéristiques de la tâche. Ainsi, plutôt que de considérer deux entités séparées, il convient de voir la fatigue comme un état commun, dont les manifestations spécifiques dépendent des contraintes de la tâche exécutée. Cette perspective répond directement à la question de la pertinence actuelle des termes « fatigue mentale » et « fatigue physique ». Ils restent utiles sur le plan descriptif, mais doivent être compris comme des formes d'état de fatigue induit par l'activité, et non comme des catégories strictement indépendantes.

Cette perspective est également soutenue par les travaux de Matthews et al. (2023), qui montrent que les mécanismes sous-jacents impliqués dans la fatigue cognitive et physique partagent des bases communes, notamment en termes d'allocation des ressources et de traitement de l'effort. Plus précisément, leur modèle formel décrit comment la fatigue fluctue de moment à moment en fonction de l'effort fourni, et influence ensuite les choix de poursuivre ou d'interrompre l'activité. Ce mécanisme est partagé entre les domaines physique (par exemple la force de préhension) et cognitif (par exemple le calcul mental), ce qui suggère que, malgré des tâches différentes, les dynamiques de développement et de récupération de la fatigue suivent une logique commune.

Ainsi, la distinction entre fatigue mentale et physique, bien qu'utile sur le plan descriptif, ne doit pas masquer leur interdépendance fonctionnelle. Dans le contexte de ce mémoire, il convient plutôt de considérer la fatigue comme un état induit par une tâche, dont les caractéristiques dépendent des contraintes physiologiques et des processus cognitifs.

Afin d'illustrer l'organisation générale de ces concepts, un schéma simplifié du cadre retenu est proposé ci-dessous.

Figure 1. Schéma conceptuel de la fatigue induite par une tâche cognitive ou physique, inspiré de Behrens et al. (2023)



2.2.2. Fatigue subjective et fatigabilité

Une seconde distinction fondamentale concerne la différenciation entre fatigue subjective et fatigabilité. Cette distinction est aujourd'hui largement reconnue comme essentielle pour une compréhension fine du phénomène de fatigue (Kluger et al., 2013 ; Skau et al., 2021).

La fatigue subjective renvoie à l'expérience vécue de la fatigue, c'est-à-dire au ressenti personnel d'un individu face à un effort. Elle inclut des sensations telles que le manque d'énergie, la difficulté à poursuivre une tâche ou encore la diminution de la motivation. Cette dimension est généralement évaluée à l'aide de questionnaires ou d'échelles d'auto-évaluation, et elle est fortement influencée par des facteurs psychologiques tels que les attentes, les émotions ou la motivation (Boksem & Tops, 2008). Les travaux sur la fatigue mentale montrent également que la motivation peut moduler l'évolution du ressenti de fatigue, du niveau de performance et de certaines réponses physiologiques au cours d'une tâche prolongée.

La fatigabilité, quant à elle, correspond à une dimension objective de la fatigue. Elle se définit comme la diminution mesurable de la performance au cours du temps ou en réponse à

un effort (Kluger et al., 2013). Elle peut être évaluée à travers des indicateurs comportementaux (temps de réaction, taux d'erreur) ou physiques (force musculaire, endurance). Skau et al. (2021) précisent que la fatigabilité correspond à l'ampleur ou à la vitesse de dégradation d'un critère de performance par rapport à une valeur de référence.

L'intérêt de cette distinction réside dans le fait que ces deux dimensions ne coïncident pas nécessairement. Plusieurs études montrent qu'un individu peut ressentir une fatigue subjective marquée sans présenter de baisse immédiate de performance, ou au contraire afficher une altération de performance sans rapporter une fatigue subjective proportionnelle (Boksem & Tops, 2008 ; Holgado et al., 2023). Cette dissociation peut s'expliquer par le fait que la performance dépend aussi des processus motivationnels et de l'effort investi. Lorsqu'une personne reste motivée, elle peut maintenir sa performance malgré une augmentation du ressenti de fatigue, alors qu'une baisse de motivation peut s'accompagner d'un désengagement progressif et donc d'une chute des performances. Ainsi, la fatigue subjective et la fatigabilité ne suivent pas toujours la même évolution, car elles reflètent des composantes partiellement distinctes du fonctionnement de l'individu pendant la tâche.

Dans cette perspective, certains auteurs proposent d'adopter une approche multidimensionnelle de la fatigue, intégrant simultanément ses composantes subjectives, comportementales et physiologiques (Díaz-García et al., 2021). Dans ce cadre, la dimension physiologique renvoie aux modifications objectivables de l'organisme associées à la tâche, telles que les altérations neuromusculaires, les ajustements cardiorespiratoires ou les changements métaboliques, qui peuvent accompagner l'évolution de la fatigue. Cette approche permet de mieux comprendre les mécanismes associés à la fatigue et de ne pas limiter son étude à une seule mesure, qu'elle soit subjective ou objective.

La dissociation entre fatigue subjective et fatigabilité montre qu'une baisse de performance ne s'accompagne pas nécessairement d'un ressenti conscient de fatigue. Plusieurs auteurs suggèrent ainsi que la fatigue doit être comprise comme un phénomène multidimensionnel, dans lequel les dimensions subjective et objective sont liées mais non superposables (Kluger et al., 2013 ; Skau et al., 2021 ; Behrens et al., 2023). Dans cette perspective, une diminution de la performance sans ressenti de fatigue n'exclut pas la présence d'un état de fatigue, mais peut refléter un désengagement comportemental, des mécanismes de compensation ou une modulation du niveau d'effort investi dans la tâche (Enoka & Duchateau, 2016 ; Wright, 2008 ; Matthews et al., 2023). Inversement, un ressenti élevé de fatigue sans altération immédiate de la performance souligne que la fatigue subjective peut précéder ou

accompagner, sans la déterminer systématiquement, la fatigabilité observable. Ainsi, aucune des deux dimensions ne devrait être considérée comme unique ou suffisante à elle seule ; leur intérêt réside plutôt dans leur combinaison pour appréhender plus fidèlement l'état de fatigue.

2.2.3. Enjeux pour la recherche

Ces distinctions conceptuelles ont des implications méthodologiques importantes. L'absence de définition claire ou l'utilisation interchangeable de ces concepts peut conduire à des interprétations erronées des résultats et à des contradictions apparentes dans la littérature (Pattyn et al., 2018).

Dans le cadre de ce mémoire, il apparaît donc essentiel de distinguer explicitement la fatigue subjective et la fatigabilité, ainsi que de considérer les interactions entre fatigue mentale et fatigue physique. Cette clarification conceptuelle constitue une étape préalable indispensable à l'analyse des effets des tâches cognitives et de l'activité physique sur la fatigue.

2.3. Modèles explicatifs de la fatigue

La fatigue fait l'objet de nombreux modèles théoriques visant à expliquer ses mécanismes sous-jacents. Ces modèles ont progressivement évolué d'une vision centrée sur l'épuisement des ressources vers des approches plus intégratives, prenant en compte les dimensions cognitives, motivationnelles et perceptives de l'effort.

Dans un premier temps, les modèles dits des ressources limitées ont dominé la littérature. Selon cette approche, la fatigue résulterait d'un épuisement progressif des ressources énergétiques ou cognitives disponibles pour réaliser une tâche, comme l'illustrent les modèles d'*ego depletion* développés par Baumeister et al. (1998). Appliqués à la fatigue mentale, ces modèles suggèrent qu'un engagement prolongé dans une activité cognitive entraînerait une diminution des capacités attentionnelles et exécutives. Toutefois, ces modèles présentent des limites importantes. Ils peinent notamment à expliquer certaines observations empiriques, telles que la possibilité de maintenir une performance élevée malgré un fort ressenti de fatigue, ou

encore la récupération rapide des performances après une simple modification motivationnelle (Boksem & Tops, 2008 ; Pattyn et al., 2018).

Face à ces limites, des approches alternatives ont émergé, mettant davantage l'accent sur les processus motivationnels. La théorie de l'intensité de la motivation, issue des travaux de Wright (2008), propose que l'engagement dans une tâche dépende de l'évaluation du coût de l'effort par rapport aux bénéfices attendus. Dans cette perspective, la fatigue ne correspond pas à un épuisement des ressources, mais à une diminution de la volonté d'investir de l'effort lorsque celui-ci est perçu comme trop coûteux. Cette idée est prolongée par les travaux de Müller et Apps (2019), qui introduisent le concept de fatigue motivationnelle. Selon ces auteurs, un effort prolongé augmente le coût subjectif de l'action, ce qui réduit progressivement la motivation à poursuivre l'activité, indépendamment des capacités physiologiques réelles.

Dans cette continuité, le modèle psychobiologique de la performance, proposé notamment par Marcora et al. (2009), constitue une avancée majeure dans la compréhension de la fatigue. Ce modèle met en avant le rôle central de la perception de l'effort dans la régularisation de la performance. Selon cette approche, la limitation de la performance ne serait pas due à une défaillance physiologique, mais à une augmentation du coût perçu de l'effort, conduisant l'individu à interrompre l'activité. Ce modèle permet d'expliquer pourquoi la fatigue mentale peut altérer la performance physique sans modification physiologique observable, en agissant directement sur la perception de l'effort.

Les travaux plus récents s'inscrivent dans une perspective encore plus intégrative, en mobilisant des approches computationnelles et neuroscientifiques. Matthews et al. (2023) proposent ainsi un modèle dans lequel la fatigue résulte d'un processus dynamique d'allocation des ressources, basé sur une évaluation continue des coûts et des bénéfices associés à l'effort. De manière complémentaire, les travaux de Pessiglione et al. (2025) suggèrent que la fatigue cognitive pourrait émerger de mécanismes neuronaux impliqués dans la prise de décision et l'économie de l'effort, intégrant des signaux liés à la récompense et au coût énergétique.

Dans cette même logique, Behrens et al. (2023) proposent un cadre théorique unifié de la fatigue, intégrant à la fois les dimensions physiologiques, cognitives et motivationnelles. Selon ce modèle, la fatigue doit être comprise comme un processus adaptatif permettant de réguler l'engagement dans l'effort afin de préserver l'homéostasie de l'organisme. Cette approche met en évidence l'interaction constante entre les signaux corporels (fatigue physique), les processus cognitifs (évaluation de l'effort) et les facteurs motivationnels.

Enfin, Halperin et Vigotsky (2024) proposent une distinction entre effort réel et effort perçu, en soulignant que c'est principalement la perception de l'effort qui influence le comportement. Cette distinction est particulièrement pertinente dans l'étude de la fatigue, car elle aide à comprendre pourquoi une baisse de performance n'implique pas nécessairement une augmentation immédiate du ressenti subjectif de fatigue. En effet, lorsqu'un individu demeure motivé à poursuivre une tâche, il peut compenser l'augmentation du coût perçu en maintenant un niveau d'effort élevé, ce qui permet de préserver temporairement la performance malgré une fatigue ressentie. À l'inverse, si l'effort perçu devient trop coûteux ou que la motivation diminue, l'investissement dans la tâche peut décroître, entraînant une baisse de performance sans que le ressenti de fatigue ne continue nécessairement à augmenter. Cette distinction permet ainsi de mieux expliquer les dissociations observées entre fatigue subjective et performance objective.

Ainsi, l'évolution des modèles théoriques de la fatigue témoigne d'un déplacement progressif d'une vision centrée sur les ressources vers une approche intégrative, dans laquelle la fatigue est envisagée comme un processus dynamique impliquant des mécanismes perceptifs, motivationnels et décisionnels. Cette perspective est particulièrement pertinente dans le cadre de ce mémoire, qui s'intéresse à l'interaction entre activité physique et tâche cognitive, deux dimensions susceptibles d'influencer conjointement la perception de l'effort et l'allocation des ressources.

2.4.Effets des tâches cognitives et de la fatigue mentale

La fatigue mentale est généralement définie comme un état psychobiologique résultant d'un engagement prolongé dans une activité cognitive exigeante (Boksem & Tops, 2008 ; Marcora et al., 2009). Elle se manifeste par une augmentation du ressenti de fatigue, une diminution de la vigilance, une baisse de la motivation ainsi qu'une altération des performances cognitives (Van Cutsem et al., 2017 ; Slimani et al., 2018). Cet état peut être induit par différents types de tâches sollicitant fortement les fonctions exécutives, telles que les tâches d'inhibition (Stroop), de mémoire de travail (N-back) ou encore de vigilance prolongée (Díaz-García et al., 2021).

De manière relativement consensuelle, la littérature montre que la fatigue mentale altère les performances cognitives. Elle se traduit notamment par un ralentissement du temps de

réaction, une augmentation du taux d'erreur et une diminution de la capacité à maintenir l'attention dans le temps (Van Cutsem et al., 2017 ; Slimani et al., 2018). Ces effets sont particulièrement marqués dans les tâches nécessitant un contrôle attentionnel soutenu ou une régulation cognitive élevée. Par ailleurs, la fatigue mentale s'accompagne d'une diminution de la motivation, ce qui peut contribuer à la dégradation des performances indépendamment des capacités cognitives strictes (Boksem & Tops, 2008).

Au-delà de ses effets sur la cognition, la fatigue mentale influence également la performance physique, en particulier dans les activités d'endurance aérobie. L'étude de Marcora et al. (2009) constitue une référence dans ce domaine. Les auteurs ont montré qu'une tâche cognitive de 90 minutes, consistant en la réalisation continue d'un test AX-CPT (AX-Continuous Performance Task), entraînait une diminution significative de la performance lors d'un exercice de cyclisme d'endurance jusqu'à l'épuisement chez des adultes actifs en bonne santé, sans modification des paramètres physiologiques tels que la fréquence cardiaque ou le lactate sanguin. Ce résultat suggère que l'impact de la fatigue mentale repose principalement sur des mécanismes perceptifs plutôt que physiologiques.

Plus précisément, la fatigue mentale semble agir en augmentant la perception de l'effort. Selon Van Cutsem et al. (2017), cet accroissement du coût perçu de l'effort constitue le principal médiateur de la diminution des performances physiques observée après une tâche cognitive prolongée. Ainsi, même si les capacités physiologiques de l'individu restent inchangées, l'effort est perçu comme plus difficile, ce qui conduit à une réduction de l'engagement dans la tâche et, in fine, à une diminution de la performance. Ces résultats ont été confirmés par plusieurs revues systématiques et méta-analyses. McMorris et al. (2018) montrent notamment que la fatigue mentale affecte principalement les performances d'endurance physique, tandis que les effets sur les efforts de courte durée ou de type anaérobie sont plus limités. Cette spécificité suggère que la fatigue mentale agit surtout sur les processus impliqués dans la régulation de l'effort sur le long terme, plutôt que sur les capacités musculaires maximales. Toutefois, ces résultats ne font pas l'unanimité. Certaines études récentes, comme celle de Holgado et al. (2023), n'ont pas mis en évidence d'effet significatif de la fatigue mentale induite par une tâche cognitive prolongée sur la fonction neuromusculaire ni sur la performance d'exercice. Dans cette étude, des participants sains réalisaient une tâche mentale individualisée avant un exercice physique, et aucune détérioration nette de la performance ni des marqueurs neuromusculaires n'a été observée. Ces divergences peuvent s'expliquer par des différences méthodologiques, notamment en ce qui concerne la nature des tâches cognitives utilisées, leur durée, l'ordre des

tâches ou encore les caractéristiques des participants. Elles soulignent également la complexité des mécanismes impliqués dans la fatigue.

Par ailleurs, la fatigue mentale est étroitement liée aux processus motivationnels. Selon Müller et Apps (2019), elle pourrait résulter d'une augmentation du coût subjectif de l'effort, influençant la décision de poursuivre ou non une activité. Cette approche est cohérente avec les modèles psychobiologiques de la performance, qui mettent en avant le rôle central de la perception de l'effort dans la régulation du comportement (Marcora et al., 2009 ; Halperin & Vigotsky, 2024). Enfin, l'étude de la fatigue mentale repose sur l'utilisation conjointe de mesures subjectives, comportementales et physiologiques. Les échelles d'auto-évaluation permettent d'accéder au ressenti de fatigue, tandis que les tests de performance (temps de réaction, précision) renseignent sur la fatigabilité. Les mesures physiologiques, telles que l'EEG ou la pupillométrie, offrent quant à elles des indices sur les mécanismes neurocognitifs sous-jacents (Díaz-García et al., 2021). Toutefois, ces différentes dimensions ne sont pas toujours corrélées, ce qui renforce l'intérêt d'une approche multidimensionnelle de la fatigue. Ainsi, la fatigue mentale apparaît comme un phénomène complexe, influençant à la fois les performances cognitives et physiques, principalement via des mécanismes perceptifs et motivationnels. Cette complexité justifie l'intérêt d'étudier ses interactions avec d'autres facteurs, notamment l'activité physique, dans des situations de double tâche.

2.5. Interaction entre activité physique et tâche cognitive

Dans de nombreuses situations de la vie quotidienne, professionnelle ou sportive, les individus sont amenés à réaliser simultanément une activité physique et une tâche cognitive. Ces situations de double tâche constituent un cadre particulièrement pertinent pour l'étude de la fatigue, dans la mesure où elles impliquent une mobilisation conjointe des ressources physiques et cognitives (Van Cutsem et al., 2017). Elles permettent ainsi d'examiner les interactions entre ces deux dimensions, qui sont le plus souvent étudiées de manière isolée dans la littérature.

La réalisation simultanée d'une tâche cognitive et d'un exercice physique entraîne une augmentation de la charge globale imposée à l'individu. Cette augmentation peut se traduire par une élévation de la charge mentale perçue, ainsi que par une modification de la perception de l'effort physique (Boksem & Tops, 2008). En effet, lorsque les ressources attentionnelles

doivent être partagées entre plusieurs tâches, la capacité à maintenir une performance optimale dans chacune d'elles peut être compromise. Cette compétition pour les ressources cognitives constitue un mécanisme central dans les situations de double tâche.

Plusieurs études ont montré que l'ajout d'une tâche cognitive pendant un exercice physique pouvait augmenter la fatigue subjective, même en l'absence de modifications physiologiques significatives. Dans la continuité des travaux de Marcora et al. (2009), il apparaît que la perception de l'effort joue un rôle déterminant dans la régulation de la performance. Ainsi, un individu engagé dans une double tâche peut percevoir l'effort physique comme plus difficile, ce qui peut entraîner une diminution de la durée ou de l'intensité de l'activité, indépendamment de ses capacités physiologiques réelles. Toutefois, les effets de la double tâche sur la performance objective restent hétérogènes. Certaines études rapportent une diminution des performances physiques ou cognitives, tandis que d'autres n'observent pas d'effet significatif (McMorris et al., 2018 ; Holgado et al., 2020). Cette variabilité peut s'expliquer par plusieurs facteurs, tels que la nature des tâches utilisées, leur intensité, leur durée, ou encore les caractéristiques des participants. Par exemple, des tâches cognitives de faible intensité peuvent avoir un impact limité, voire nul, sur la performance physique, tandis que des tâches plus exigeantes peuvent entraîner une dégradation significative des performances (Van Cutsem et al., 2017 ; McMorris et al., 2018 ; Holgado et al., 2020).

Par ailleurs, les interactions entre activité physique et cognition apparaissent comme bidirectionnelles. Si la fatigue mentale peut altérer la performance physique, l'effort physique peut également influencer les performances cognitives. Certaines études suggèrent qu'un effort physique modéré peut s'accompagner d'une amélioration de certaines fonctions cognitives, notamment de l'attention ou de la vitesse de traitement, alors qu'un effort plus intense ou prolongé tend à entraîner une dégradation des performances cognitives (Jin et al., 2024). Cette différence pourrait s'expliquer par le niveau de charge imposé à l'individu et par la manière dont les ressources attentionnelles sont mobilisées pendant l'effort. Ces effets dépendent notamment du niveau de charge physique et de la durée de l'effort.

Ces interactions peuvent être interprétées à la lumière des modèles présentés précédemment. Dans une perspective psychobiologique, la combinaison d'une activité physique et d'une tâche cognitive augmente le coût perçu de l'effort, ce qui peut influencer la décision de persister dans l'activité (Marcora et al., 2009 ; Müller & Apps, 2019). De même, les modèles théoriques suggèrent que l'allocation des ressources entre différentes tâches repose sur une évaluation dynamique des coûts et des bénéfices associés à chacune d'elles (Matthews

et al., 2023). Dans ce contexte, la réalisation simultanée de plusieurs tâches peut conduire à une redistribution des ressources, affectant la performance globale.

Enfin, les situations de double tâche présentent un intérêt particulier en termes de validité écologique. Dans la réalité, les individus sont rarement confrontés à des tâches purement physiques ou purement cognitives. L'étude de leur combinaison permet donc de mieux comprendre les mécanismes de la fatigue dans des contextes proches de la vie réelle, tels que le sport, la conduite ou certains environnements professionnels. Ainsi, l'interaction entre activité physique et tâche cognitive apparaît comme un phénomène complexe, impliquant des mécanismes perceptifs, attentionnels et motivationnels. Les résultats hétérogènes de la littérature soulignent la nécessité de poursuivre les recherches dans ce domaine, notamment en intégrant simultanément des mesures subjectives et objectives de la fatigue. Cette approche constitue précisément l'objectif du présent mémoire, qui vise à mieux comprendre l'influence conjointe d'une activité physique et d'une tâche cognitive sur la fatigue.

2.6. Manque dans la littérature et justification de l'étude

Malgré un intérêt croissant pour l'étude de la fatigue, la littérature scientifique présente encore plusieurs limites importantes qui freinent une compréhension intégrée de ce phénomène. Ces lacunes concernent à la fois les aspects conceptuels, méthodologiques et expérimentaux, et justifient la pertinence de poursuivre les recherches dans ce domaine.

Tout d'abord, une première difficulté réside dans l'absence de consensus terminologique autour du concept de fatigue. Comme le soulignent Skau et al. (2021) et Pattyn et al. (2018), les termes de fatigue mentale, fatigue cognitive, fatigue subjective ou encore fatigabilité sont souvent utilisés de manière interchangeable, sans distinction claire. Cette confusion conceptuelle complique la comparaison des résultats entre études et limite la construction de modèles théoriques cohérents. Bien que certains travaux aient proposé des cadres unificateurs distinguant notamment l'expérience subjective de la fatigabilité (Kluger et al., 2013 ; Enoka & Duchateau, 2016), ces distinctions ne sont pas systématiquement intégrées dans les protocoles expérimentaux.

Ensuite, la littérature actuelle reste majoritairement compartimentée entre l'étude de la fatigue mentale et celle de la fatigue physique. Or, comme le souligne le cadre intégratif proposé

par Behrens et al. (2023), la fatigue est un phénomène multidimensionnel résultant d'interactions complexes entre systèmes physiologiques, cognitifs et motivationnels. Dans les situations réelles, ces différentes dimensions sont rarement isolées. Pourtant, la majorité des études expérimentales se concentre sur une seule forme de fatigue ou adopte des paradigmes séquentiels (par exemple, une tâche cognitive suivie d'un exercice physique), ce qui limite la validité écologique des résultats.

Par ailleurs, les études portant sur les situations de double tâche, impliquant une activité physique et cognitive simultanée, restent encore peu nombreuses et présentent des résultats hétérogènes. Si certaines recherches mettent en évidence une augmentation de la perception de l'effort et une diminution des performances d'endurance (Marcora et al., 2009 ; Van Cutsem et al., 2017), d'autres ne retrouvent pas d'effet significatif sur les performances objectives (Holgado et al., 2023). Ces divergences peuvent s'expliquer par des différences méthodologiques importantes, notamment dans la nature des tâches utilisées, leur durée, leur intensité ou encore les caractéristiques des participants. Elles soulignent également la complexité des mécanismes sous-jacents à la fatigue et la nécessité d'approches plus standardisées.

Une autre limite importante concerne la dissociation entre fatigue subjective et mesures objectives de performance. Plusieurs études montrent que l'augmentation du ressenti de fatigue ne s'accompagne pas toujours d'une diminution des performances (Holgado et al., 2023 ; Silva-Cavalcante et al., 2018). Cette dissociation met en évidence le rôle central de la perception de l'effort et des processus motivationnels dans la régulation de la performance (Müller & Apps, 2019 ; Matthews et al., 2023). Toutefois, peu d'études intègrent simultanément des mesures subjectives, comportementales et physiologiques, ce qui limite la compréhension des relations entre ces différentes dimensions.

Enfin, les mécanismes neurocognitifs et motivationnels impliqués dans la fatigue restent encore partiellement compris. Bien que certains modèles récents proposent une approche intégrative centrée sur l'évaluation coût-bénéfice de l'effort (Boksem & Tops, 2008 ; Müller & Apps, 2019), les données empiriques permettant de relier ces modèles aux observations comportementales et physiologiques demeurent encore limitées.

Dans ce contexte, il apparaît pertinent d'adopter une approche expérimentale intégrative, permettant d'examiner l'influence conjointe d'une activité physique et d'une tâche cognitive sur la fatigue, en prenant en compte à la fois ses dimensions subjective et objective.

Une telle démarche permettrait de mieux comprendre les interactions entre ces différentes composantes, tout en répondant aux limites identifiées dans la littérature actuelle. Elle s'inscrit ainsi directement dans la question de recherche de ce mémoire, qui vise à explorer l'influence d'une activité physique, conjointe à la réalisation d'une tâche cognitive, sur la fatigue subjective et la fatigabilité.

3. Hypothèses et objectifs principaux

Comme la revue de la littérature le montre, les interactions entre fatigue mentale et activité physique restent encore partiellement comprises, en particulier lorsque ces deux types d'effort sont réalisés simultanément. De plus, les études existantes distinguent rarement de façon claire les dimensions subjectives et objectives de la fatigue dans ce type de contexte.

Dans ce contexte, l'objectif principal de ce mémoire est d'examiner l'influence d'une activité physique, conjointe à la réalisation d'une tâche cognitive, sur la fatigue, en distinguant ses dimensions subjective et objective. Plus précisément, ce travail vise à analyser comment une tâche cognitive soutenue influence l'évolution de la fatigue perçue ainsi que la fatigabilité, et à déterminer dans quelle mesure l'ajout d'une activité physique modifie ces effets dans une situation de double tâche.

L'hypothèse principale est de comprendre quel est l'impact de l'ajout d'une activité physique pendant une tâche cognitive. Pour pouvoir répondre à cette question, deux sous-hypothèses apparaissent :

- 1) Premièrement, une tâche cognitive soutenue devrait entraîner une augmentation progressive de la fatigue subjective au cours du temps, cette augmentation pouvant être influencée par la présence d'une activité physique simultanée.
- 2) Deuxièmement, cette augmentation de la fatigue subjective devrait s'accompagner d'une diminution des performances à la tâche cognitive, traduisant une augmentation de la fatigabilité, laquelle pourrait être modulée par la présence d'une activité physique simultanée.

Enfin, une hypothèse exploratoire est formulée :

- 1) Certaines dimensions de la charge de travail perçue, en particulier l'exigence mentale et l'exigence physique évaluées à l'aide du questionnaire NASA-TLX, devraient être associées à une augmentation de la fatigue subjective et une diminution des performances.

4. Méthode

La présente section décrit la méthodologie mise en œuvre afin de répondre à la question de recherche. Elle détaille les caractéristiques des participants, le déroulement de l'étude ainsi que les outils et procédures utilisés pour la collecte et l'analyse des données.

4.1. Participants

Une analyse de puissance a priori a été réalisée à l'aide du logiciel G*Power afin d'estimer la taille d'échantillon nécessaire pour détecter un effet de taille moyenne. En considérant une taille d'effet de $f = .25$, un seuil de significativité fixé à $\alpha = .05$ et une puissance statistique de $1 - \beta = .95$, les résultats indiquaient qu'un minimum de 36 participants était requis.

Dans le cadre du projet global, 80 participants adultes ont été recrutés et répartis en deux groupes expérimentaux. Un groupe soumis à une induction de fatigue mentale et un groupe soumis à une induction de fatigue physique. Le présent travail se concentre uniquement sur les participants assignés à la condition de fatigue mentale ; correspondant à un sous-échantillon de 40 participants, ce qui reste supérieur à la taille minimale requise.

Le recrutement a été réalisé par le biais de différents canaux, incluant les réseaux sociaux, les plateformes universitaires ainsi que le bouche-à-oreille.

Les critères d'inclusion étaient les suivants : être âgé de 18 à 30 ans, être en bonne santé générale, et avoir le français comme langue maternelle ou un niveau de maîtrise suffisant pour comprendre les consignes expérimentales. Les participants pouvaient être de sexe masculin ou féminin.

Les critères d'exclusion comprenaient : des antécédents de traumatisme crânien, des troubles neurologiques ou psychiatriques diagnostiqués, des troubles moteurs, ainsi que toute pathologie susceptible d'interférer avec les performances cognitives ou physiques, notamment les troubles respiratoires tels que l'asthme. Étaient également exclus les participants présentant une consommation abusive de substances psychoactives ou prenant une médication pouvant influencer la fatigue, la motivation ou les performances cognitives (par exemple, antidépresseurs ou anxiolytiques).

Tableau 1. *Caractéristiques générales des participants*

Variables	Échantillon
Nombre total (n)	40
Pourcentage de femmes	52.5%
Âge moyen (SD)	22.8 ans (2.0)
Pourcentage de droitiers	87.5%
Nombre d'années d'étude moyen (SD)	14.8 ans (1.5)
Débutants en utilisation de la manette (n / %)	17 (42.5 %)
Niveau d'activité physique – débutant (n / %)	10 (25.0%)
Niveau d'activité physique – intermédiaire (n / %)	24 (60.0%)
Niveau d'activité physique – expert (n / %)	1 (2.5%)

Légende. Nombre d'années d'étude moyen : nombre d'années d'études réussies calculé en additionnant les années d'études primaires, secondaires et supérieures. Débutants en utilisation de la manette : participants ayant une faible expérience préalable avec une manette de jeu vidéo avant l'étude (auto-rapporté). Niveau d'activité physique : niveau habituel de pratique sportive rapporté par les participants, selon une classification en quatre catégories : pas de sport, débutant, intermédiaire et expert.

Cette étude a été approuvée par le comité d'éthique de la Faculté de Psychologie, Logopédie et des Sciences de l'Éducation de l'Université de Liège préalablement au début de la collecte des données. Tous les participants ont signé un formulaire de consentement éclairé avant leur participation et ont été informés de leur droit de se retirer de l'étude à tout moment. Afin de limiter les biais expérimentaux, les participants n'ont pas été informés initialement de l'objectif exact de l'étude ; un débriefing complet leur a été fourni à l'issue de leur participation.

4.2.Design expérimental

Le présent mémoire s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche plus large visant à examiner l'impact réciproque de la fatigue mentale et de la fatigue physique sur les performances cognitives et physiques. Ce projet repose sur l'hypothèse selon laquelle ces deux formes de fatigues pourraient interagir et s'influencer mutuellement, notamment lorsqu'elles sont induites simultanément.

Dans cette perspective, le protocole expérimental global repose sur un plan factoriel mixte combinant un facteur inter-sujets et un facteur intra-sujet. Le facteur inter-sujets correspond au type d'induction de fatigue auquel les participants sont assignés, c'est-à-dire une induction de fatigue mentale ou une induction de fatigue physique. Le facteur intra-sujet correspond quant à lui à la condition expérimentale, chaque participant étant amené à réaliser deux sessions distinctes. Une condition dite « simple » dans laquelle une seule forme de fatigue est induite (soit mentale, soit physique), et une condition dite « combinée » dans laquelle les fatigues mentale et physique sont induites simultanément.

Ce type de plan expérimental permet d'examiner à la fois les effets spécifiques de chaque type de fatigue mais également leurs effets combinés, tout en contrôlant les différences interindividuelles grâce à la répétition des mesures chez un même participant. Il offre ainsi un cadre méthodologique pertinent pour étudier les interactions potentielles entre fatigue mentale et fatigue physique.

Dans le cadre spécifique de ce mémoire, l'analyse a été restreinte à un sous-échantillon de participants appartenant au groupe « fatigue mentale ». Ainsi, seuls les participants ayant réalisé une condition simple d'induction de fatigue mentale ainsi qu'une condition combinée ont été inclus dans les analyses. Ce choix méthodologique permet de répondre de manière ciblée à la question de recherche, qui porte sur l'influence d'une activité physique réalisée conjointement à une tâche cognitive sur la fatigue subjective et objective.

Par ailleurs, bien que le protocole expérimental global comporte un ensemble étendu de mesures, tant objectives que subjectives (incluant notamment des évaluations de performance physique et cognitive variées), le présent travail se concentre uniquement sur un ensemble restreint d'indicateurs jugés pertinents au regard de la problématique étudiée. Plus précisément, les analyses portent sur les performances à la tâche cognitive principale (TLDB), ainsi que sur

des mesures subjectives de fatigue et de charge de travail, évaluées respectivement à l'aide d'Échelles Visuelles Analogiques (VAS) et du questionnaire NASA-TLX.

Ce choix d'opérationnalisation permet de cibler à la fois les dimensions subjective et comportementale de la fatigue, en lien direct avec la réalisation simultanée d'une tâche cognitive et d'une activité physique. Il s'inscrit dans une approche intégrative de la fatigue, considérée comme un phénomène multidimensionnel impliquant à la fois des composantes perceptives et des altérations de performances.

Enfin, pour une description exhaustive du protocole expérimental dans son ensemble, incluant l'ensemble des tâches, mesures et conditions non exploitées dans le cadre de ce mémoire, le lecteur est invité à se référer au travail de DANTINNE Alicia, qui détaille de manière approfondie la méthodologie complète de l'étude.

4.3.Procédure expérimentale

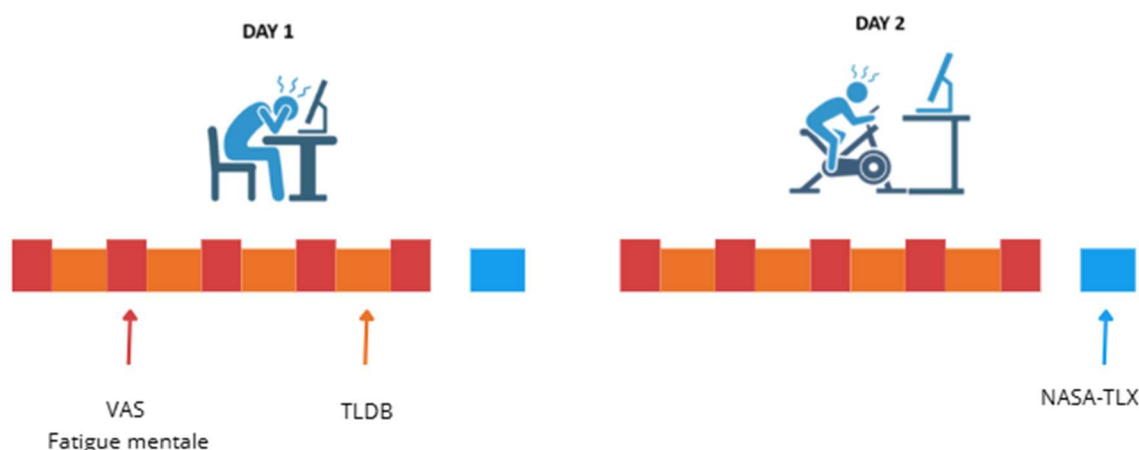
La procédure expérimentale s'inscrit dans le cadre du protocole général de l'étude, structuré autour de deux sessions expérimentales réalisées sur deux jours distincts. Chaque participant a ainsi pris part à une condition simple et à une condition combinée, dans un ordre randomisé, permettant d'examiner les effets respectifs et conjoints des différentes formes de fatigue.

Chaque session expérimentale suivait une structure similaire, comprenant trois phases principales : une phase de mesures pré-induction, une phase d'induction de fatigue et une phase de mesures post-induction. Cette organisation permet d'évaluer l'évolution des variables d'intérêt en fonction de l'état de fatigue induit.

Dans la condition simple analysée dans ce mémoire, les participants réalisaient une tâche d'induction de fatigue mentale reposant sur une tâche cognitive. Dans la condition combinée, cette même tâche cognitive était réalisée simultanément avec une activité physique de type cyclisme, permettant ainsi d'induire conjointement une fatigue mentale et physique.

Au cours de chaque session, différentes mesures étaient administrées à plusieurs moments clés, notamment avant, pendant et après l'induction de fatigue. Ces mesures incluaient à la fois des évaluations objectives de performance et des auto-évaluations subjectives.

Figure 2. Schéma de la procédure expérimentale



La section suivante se concentre sur les outils et mesures spécifiquement utilisés dans le cadre de ce travail.

4.4. Matériel et mesures

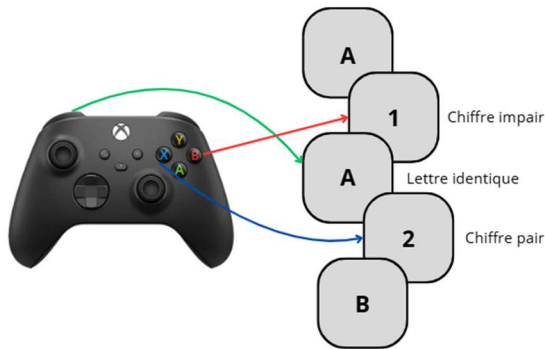
4.4.1. *Time Load Dual Back*

La fatigue mentale est induite et évaluée à l'aide de la tâche informatisée Time Load Dual Back (TLDB) (Borragán et al., 2017), une double tâche cognitive sollicitant simultanément la mémoire de travail et l'attention soutenue, réalisée ici sur vélo afin de garantir des conditions de passation comparables à celles de la tâche combinée. Cette tâche est couramment utilisée dans la littérature pour induire un état de fatigue mentale en raison de sa charge cognitive élevée et de la sollicitation continue des ressources attentionnelles.

Concrètement, la TLDB consiste en la présentation successive de stimuli de deux types : des lettres et des chiffres. Chaque stimulus est présenté pendant 1 seconde, et le participant doit répondre dans le temps imparti à chacune des deux composantes de la tâche. D'une part, il doit indiquer si la lettre présentée correspond à celle qui a été présentée immédiatement auparavant (tâche de type 1-back), il doit appuyer sur la touche LB de la manette. D'autre part, il doit juger si le chiffre affiché est pair, auquel cas il doit appuyer sur la touche X, ou impair, auquel cas il doit appuyer sur la touche B. Cette double exigence impose une mobilisation simultanée de processus de mémoire de travail et de traitement attentionnel. La présentation rapide et continue

des stimuli impose au participant de maintenir un niveau élevé de vigilance et de concentration sur une période prolongée.

Figure 3. Illustration de la tâche "Time Load Dual Back"



Avant la réalisation de la tâche, un entraînement est effectué afin de familiariser les participants avec le fonctionnement de la TLDB. Pour pouvoir accéder à la tâche expérimentale, les participants doivent atteindre un seuil de 85 % de réponses correctes lors de cette phase d'apprentissage, ce qui permet de s'assurer qu'ils ont bien compris les consignes.

Dans le cadre de cette étude, la TLDB est réalisée pendant une durée totale de 20 minutes, répartie en quatre blocs de 5 minutes. Entre chaque bloc, la tâche est interrompue afin de permettre l'évaluation du ressenti subjectif de fatigue à l'aide des Échelles Visuelles Analogiques (VAS). Cette organisation permet de suivre l'évolution progressive de la fatigue mentale au cours de la tâche tout en recueillant des mesures subjectives à intervalles réguliers.

Les performances à la TLDB constituent une mesure objective de la fatigabilité cognitive. Elles peuvent être appréhendées à travers différents indicateurs, tels que le taux d'erreurs ou la capacité à maintenir un niveau de performance stable au cours du temps. Dans le cadre de ce mémoire, c'est le pourcentage de réponses correctes qui sera analysé.

4.4.2. Échelles visuelles analogiques

Les dimensions subjectives de la fatigue et de l'effort sont évaluées à l'aide d'Échelles Visuelles Analogiques (VAS) (McCormack et al. ; 1988). Ce type d'outil est largement utilisé en recherche expérimentale en raison de sa sensibilité et de sa facilité d'utilisation. Avant le début de la passation, les participants reçoivent une explication des différentes dimensions

évaluées afin de bien distinguer les concepts de fatigue mentale, fatigue physique, effort mental, ou encore effort physique.

Les participants sont invités à indiquer leur ressenti sur les différentes dimensions mentionnées précédemment. Chacune d'elles est évaluée sur un continuum allant de 0 à 10, dont les extrémités sont accompagnées de labels descriptifs permettant de guider la réponse. Cette échelle permet de capter les variations fines du ressenti subjectif.

Ces mesures sont administrées à plusieurs moments au cours des sessions expérimentales. Elles sont notamment recueillies avant et après les tâches d'induction de fatigue, mais également à intervalles réguliers pendant leur réalisation, soit toutes les 5 minutes, pour un total de 3 mesures durant la tâche. Cette répétition des mesures permet de suivre l'évolution dynamique du ressenti de fatigue et d'effort au cours du temps.

L'utilisation des VAS permet ainsi d'obtenir une mesure fine et continue de la fatigue mentale subjective, en complément des indicateurs objectifs de performance. Dans le cadre de ce mémoire, c'est la question reformulée « Comment évaluez-vous votre fatigue mentale actuelle ? » qui sera analysée.

4.4.3. Condition combinée

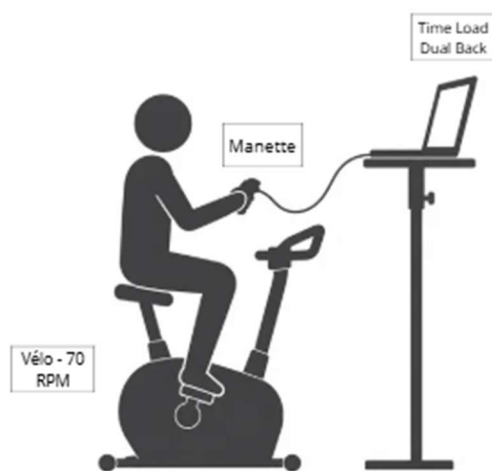
Dans la condition combinée, la tâche TLDB est réalisée simultanément avec un exercice de vélo d'appartement. Le participant doit donc effectuer en parallèle la tâche cognitive sur ordinateur et maintenir un pédalage à intensité constante. Cette configuration vise à mobiliser conjointement les ressources cognitives et physiques, tout en plaçant le participant dans une situation de double tâche.

L'intensité de l'effort physique est contrôlée à l'aide de l'échelle de perception de l'effort de Borg (Borg, 1998), qui varie de 6 à 20. Cette échelle permet au participant d'estimer l'intensité de l'exercice ressenti. Dans le cadre de cette étude, le participant est invité à se situer autour de la valeur 14, correspondant à un effort moyennement difficile. Cette consigne implique un pédalage soutenu, accompagné d'une sensation d'effort clairement perceptible, tout en restant tenable sur la durée de la tâche.

Lors de la phase d'entraînement, qui dure 2 minutes, le participant ajuste la résistance du vélo afin d'atteindre cette zone cible, avec une cadence de pédalage fixée à 70 tours par minute. Une fois cette intensité déterminée, elle est maintenue identique dans les deux sessions expérimentales afin d'assurer la comparabilité entre les conditions.

Par ailleurs, afin de suivre l'évolution du ressenti subjectif au cours de l'épreuve, la tâche est interrompue toutes les cinq minutes pour permettre la passation des Échelles Visuelles Analogiques, tout comme pour la TLDB seule. Ce fonctionnement permet d'évaluer de manière répétée la fatigue et l'effort perçus tout au long de la condition combinée.

Figure 4. *Illustration de la condition combinée*



4.4.4. Évaluation de la charge de travail : NASA-TLX

La charge de travail perçue est évaluée à l'aide du questionnaire NASA Task Load Index (NASA-TLX) (Hart & Staveland, 1988) (voir Annexe 1), un outil multidimensionnel largement utilisé pour mesurer notamment la charge cognitive associée à une tâche.

Le NASA-TLX repose sur l'évaluation de plusieurs dimensions complémentaires émanant de la réalisation d'une tâche donnée : l'exigence mentale, l'exigence physique, l'exigence temporelle, la performance perçue, l'effort et le niveau de frustration. Chaque dimension est évaluée sur une échelle graduée allant de 0 (faible) à 10 (élevée), permettant d'obtenir un profil détaillé de la charge perçue.

Dans le cadre de cette étude, le questionnaire est administré à la fin de chaque session expérimentale. Il permet ainsi d'obtenir une évaluation globale de la charge de travail associée à chacune des conditions expérimentales.

L'utilisation du NASA-TLX permet de compléter les mesures de fatigue subjective en apportant une information plus globale sur la manière dont les participants perçoivent les exigences de la tâche. Il constitue ainsi un indicateur pertinent pour examiner l'impact de la combinaison d'une activité physique et d'une tâche cognitive sur la perception de la charge mentale et physique.

Dans le cadre de ce mémoire, ce sont plus précisément les questions « Exigence mentale : Quelle a été l'importance de l'activité mentale et intellectuelle requise ? La tâche vous a-t-elle paru simple, nécessitant peu d'attention (faible) ou complexe, nécessitant beaucoup d'attention (élevée) » et « Exigence physique : Quelle a été l'importance de l'activité physique requise ? La tâche vous a-t-elle paru facile, peu fatigante, calme (fiable) ou pénible, fatigante, active (élevée) » qui seront analysées.

4.5. Analyses statistiques

L'ensemble des analyses statistiques a été réalisé à l'aide du logiciel Jamovi (version 2.6.44). Le seuil de significativité a été fixé à $p < .05$ pour l'ensemble des analyses. Les conditions d'application des analyses paramétriques ont été vérifiées, notamment la normalité des distributions, l'homogénéité des variances ainsi que la sphéricité. Lorsque l'hypothèse de sphéricité n'était pas respectée, des corrections appropriées ont été appliquées. Des tailles d'effet ont également été rapportées afin de compléter l'interprétation des résultats. Des analyses post-hoc avec correction de Holm ont été réalisées en cas d'effets significatifs des modèles principaux, accompagnées d'estimations des moyennes marginales, afin de préciser les différences observées entre les différents temps de mesure et entre les conditions expérimentales.

Dans le cadre de ce mémoire, les analyses portent sur un sous-échantillon de participants ayant réalisé une condition simple, dans laquelle la tâche cognitive était effectuée seule, et une condition combinée, dans laquelle la tâche cognitive était réalisée simultanément avec une activité physique. La variable indépendante principale correspond à la condition expérimentale

(simple vs. combinée), considérée comme un facteur intra-sujet. Un second facteur intra-sujet correspond au temps de mesure, permettant d'examiner l'évolution des variables au cours de la tâche.

L'hypothèse principale de ce mémoire vise à examiner l'effet de l'ajout d'une activité physique sur la fatigue subjective et objective lors de la réalisation d'une tâche cognitive. Afin d'opérationnaliser cette hypothèse, deux sous-hypothèses ont été testées.

La première sous-hypothèse postule que la réalisation d'une tâche cognitive soutenue entraîne une augmentation progressive de la fatigue subjective au cours du temps. Pour tester cette hypothèse, une analyse de variance à mesures répétées a été réalisée, incluant un facteur Temps en 5 mesures correspondant aux mesures de fatigue subjective recueillies au début de la tâche (Bloc 0), puis toutes les cinq minutes pendant son déroulement (Blocs 1 à 3), ainsi qu'à la fin de la tâche (Bloc 4), et un facteur Condition (simple vs combinée). La variable dépendante correspond au score de fatigue mentale évalué à l'aide des Échelles Visuelles Analogiques (VAS). Les effets principaux du temps et de la condition ont été examinés afin de déterminer, d'une part, si la fatigue subjective évolue au cours de la tâche, et d'autre part, si cette évolution diffère selon la condition expérimentale. L'interaction entre le temps et la condition a également été analysée afin d'examiner si l'évolution de la fatigue subjective varie selon la présence simultanée d'une activité physique.

La seconde hypothèse vise à examiner si l'augmentation de la fatigue subjective s'accompagne d'une diminution des performances cognitives au cours du temps. Pour ce faire, une analyse de variance à mesures répétées a été réalisée, incluant un facteur Temps correspondant aux 4 blocs successifs de la tâche TLDB (Blocs 1 à 4), et un facteur Condition (simple vs. combinée). La variable dépendante correspond au pourcentage de réponses correctes à la tâche TLDB. Les effets principaux du temps et de la condition ont été examinés afin d'évaluer une éventuelle variation des performances au cours de la tâche ainsi que l'impact de la double tâche sur les performances cognitives. L'interaction entre le temps et la condition a également été analysée afin de déterminer si l'évolution des performances cognitives diffère selon la présence simultanée d'une activité physique.

En complément des analyses principales, une analyse exploratoire a été réalisée afin d'examiner les relations entre la charge de travail perçue et les variations de fatigue subjective et de performance cognitive. La charge de travail perçue a été évaluée à l'aide de deux dimensions du questionnaire NASA-TLX (l'exigence mentale et l'exigence physique). Ces

scores ont été mis en relation avec des indices de variation calculés pour chaque participant. La variation de la performance cognitive au cours du temps a été estimée à partir de la différence de pourcentage de réponses correctes entre le dernier bloc et le premier bloc de la tâche TLDB (Δ performance = bloc final – bloc initial). Ainsi, un delta positif indique une amélioration des performances cognitives au cours du temps, tandis qu'un delta négatif indique une diminution des performances. La variation de la fatigue subjective au cours du temps a été calculée comme la différence entre les scores post-tâche et pré-tâche aux Échelles Visuelles Analogiques (Δ fatigue = post – pré). Ainsi, un delta positif indique une augmentation de la fatigue subjective au cours du temps, tandis qu'un delta négatif indique une diminution de la fatigue subjective. Des analyses de corrélation ont été réalisées séparément pour chaque condition expérimentale, afin d'examiner si les relations entre la charge de travail perçue et les variations de performance ou de fatigue diffèrent selon la présence d'une activité physique. Ces analyses exploratoires visent à mieux comprendre dans quelle mesure la perception des exigences de la tâche est associée aux changements observés au niveau subjectif et comportemental.

5. Résultats

Les résultats sont présentés selon les hypothèses formulées préalablement. Les analyses post-hoc détaillées figurent en annexe.

5.1. Hypothèse 1 – Est-ce qu'une tâche cognitive soutenue entraîne une augmentation progressive de l'expérience subjective de fatigue au cours de la tâche, et cette évolution varie-t-elle selon que la tâche est réalisée seule ou simultanément à un exercice physique ?

Cette première sous-hypothèse cherche à démontrer si l'expérience subjective de fatigue augmente au fur et à mesure de la tâche et si l'on observe une différence entre la condition simple et la condition combinée. Les résultats sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2. ANOVA à mesures répétées 2 (condition : simple vs combinée) x 5 (temps : bloc 0 vs bloc 1 vs bloc 2 vs bloc 3 vs bloc 4) VAS

Effets	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F	p	η_p^2
Condition	11.17	1	11.17	.718	.402	.019
Résidu (Condition)	590.83	38	15.548			
Temps	480.38	2.25	213.89	74.932	< .001	.664
Résidu (Temps)	243.62	85.35	2.85			
Condition*Temps	2.96	2.58	1.15	0.528	.637	.014
Résidu (Interaction)	213.04	98.04	2.17			

Note. ddl = degrés de liberté ; η_p^2 = eta carré partiel, indiquant la taille de l'effet ; F = statistique F de l'analyse de variance ; p = niveau de significativité.

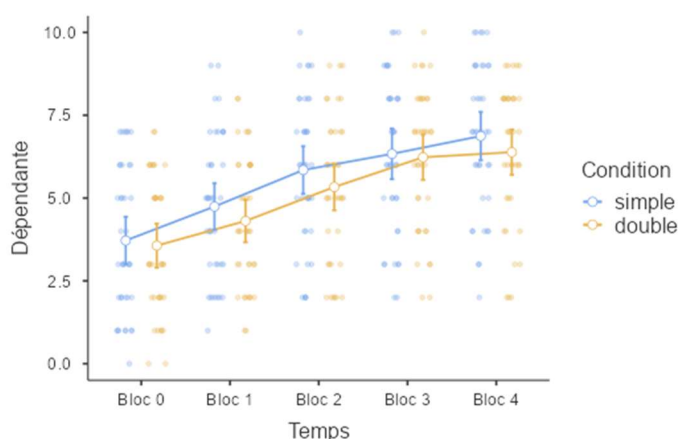
Les résultats de l'ANOVA à mesures répétées mettent en évidence un effet significatif du temps, $F(2.25, 85.35) = 74.93$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .664$, indiquant que le sentiment subjectif de fatigue évolue au cours de la tâche. Les comparaisons post-hoc avec correction de Holm (voir Annexe 2) montrent que l'expérience subjective de fatigue augmente significativement entre le bloc 0 et les blocs 1, 2, 3 et 4 (tous $p < .001$), entre le bloc 1 et les blocs 2, 3 et 4 (tous $p < .001$), ainsi qu'entre le bloc 2 et les blocs 3 et 4 (tous $p < .001$). Une différence significative est également observée entre les blocs 3 et 4 ($p = .006$). Ces résultats suggèrent que la fatigue subjective augmente de manière progressive au cours de la tâche.

Les résultats ne mettent pas en évidence d'effet significatif de la condition, $F(1, 38) = 0.72$, $p = .402$, $\eta_p^2 = .019$, ce qui indique que la fatigue subjective ne diffère pas significativement entre la condition de tâche cognitive seule et la condition combinée. Ainsi, l'ajout d'une activité physique simultanée ne semble pas entraîner de différence globale de fatigue subjective lorsque les cinq temps de mesure sont considérés ensemble.

Les estimations des moyennes marginales (voir Annexe 3) montrent une augmentation progressive de la fatigue subjective dans les deux conditions expérimentales. En condition de tâche cognitive seule, la fatigue augmente de 3.72 au bloc 0 à 6.87 au bloc 4. En condition de double tâche, elle augmente de 3.56 au bloc 0 à 6.38 au bloc 4. Les deux conditions présentent

donc des profils similaires sur le plan descriptif, avec une augmentation de la fatigue au cours du temps. Toutefois, les valeurs apparaissent légèrement plus élevées en condition de tâche cognitive seule aux derniers blocs. Cette différence doit néanmoins être interprétée avec prudence, puisque l'effet principal de la condition n'est pas statistiquement significatif.

Figure 5. Estimation des moyennes marginales de l'évolution de la fatigue subjective en fonction des deux conditions (simple et combinée)



Note. L'axe des abscisses (horizontal) représente les cinq temps de mesure de la fatigue subjective (bloc 0 à bloc 4), recueillis toutes les 5 minutes au cours de la tâche cognitive. L'axe des ordonnées (vertical) représente le score de fatigue subjective évaluée à l'aide des Échelles Visuelles Analogiques (VAS) allant de 0 (absence de fatigue) à 10 (fatigue maximum). Les points représentent les moyennes marginales estimées pour chaque condition (simple : tâche cognitive seule ; double : tâche cognitive réalisée simultanément à un exercice physique) et les barres d'erreur représentent les erreurs standards.

Enfin, l'interaction entre le temps et la condition n'est pas significative, $F(2.58, 98.04) = 0.53$, $p = .637$, $\eta_p^2 = .014$, ce qui indique que l'évolution de la fatigue subjective au cours de la tâche ne varie pas significativement selon la condition expérimentale. Ces résultats suggèrent donc que, bien que la fatigue augmente au cours du temps, cette évolution est similaire dans les deux conditions.

5.2.Hypothèse 2 – La fatigue subjective s’accompagne-t-elle d’une altération des performances objectives à la tâche, et cette relation varie-t-elle selon que la tâche est réalisée seule ou simultanément à un exercice physique ?

Cette deuxième sous-hypothèse cherche à démontrer si les performances à la TLDB diminuent au fur et à mesure de la tâche et si une différence est observée entre la condition simple et la condition combinée. Les résultats sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3. ANOVA à mesures répétées 2 (condition : simple vs combinée) x 4 (temps : bloc 1 vs bloc 2 vs bloc 3 vs bloc 4) TLDB

Effets	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F	p	η_p^2
Condition	0.1269	1	0.12690	16.28	< .001	.055
Résidu (Condition)	0.2962	38	0.00780			
Temps	0.0168	3	0.00558	3.47	.018	.007
Résidu (Temps)	0.1834	114	0.00161			
Condition*Temps	0.0104	3	0.00345	2.19	.094	.005
Résidu (Interaction)	0.1801	114	0.00158			

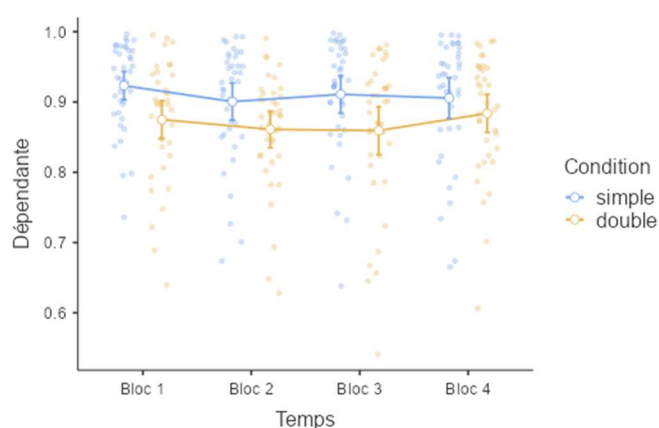
Note. ddl = degrés de liberté ; η_p^2 = eta carré partiel, indiquant la taille de l’effet ; F = statistique F de l’analyse de variance ; p = niveau de significativité.

L’analyse de l’ANOVA à mesures répétées met en évidence un effet significatif de la condition sur les performances, $F(1, 38) = 16.28$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .055$; indiquant une diminution des performances en condition de double tâche par rapport à la tâche cognitive seule. Un effet principal du temps est également observé, $F(3, 114) = 3.47$, $p = .018$, $\eta_p^2 = .007$, suggérant une légère variation des performances au cours de la tâche. Les comparaisons post-hoc avec correction de Holm (voir Annexe 4) montrent une différence significative entre le bloc 1 et le bloc 2 ($p = .007$), les performances étant plus élevées au bloc 1 qu’au bloc 2. En revanche, aucune autre comparaison entre les blocs n’est significative après correction. L’interaction entre le temps et la condition n’est pas significative, $F(3, 114) = 2.19$, $p = .094$, indiquant que

l'évolution des performances au cours du temps est similaire dans les deux conditions expérimentales.

L'estimation des moyennes marginales (voir Annexe 5) montre des performances globalement plus élevées en condition simple qu'en condition combinée. En condition simple, les performances restent relativement stables au cours des différents blocs, avec des moyennes comprises entre .901 et .923. En condition combinée, les performances apparaissent systématiquement plus faibles, avec des moyennes comprises entre .859 et .884, bien qu'aucune diminution progressive marquée ne soit observée au fil du temps. Ces résultats suggèrent que l'ajout simultané d'une activité physique entraîne une diminution globale des performances cognitives, sans toutefois modifier significativement leur évolution temporelle.

Figure 6. Estimation des moyennes marginales de l'évolution des performances à la TLDB en fonction des deux conditions (simple et combinée)



Note. L'axe des abscisses (horizontal) représente les quatre temps des performances à la TLDB (bloc 1 à bloc 4). L'axe des ordonnées (vertical) représente la performance moyenne à la tâche TLDB, exprimée sous forme de proportion de réponses correctes (de 0 à 1), des valeurs plus élevées indiquant de meilleures performances. Les points représentent les moyennes marginales estimées pour chaque condition (simple : tâche cognitive seule ; double : tâche cognitive réalisée simultanément à un exercice physique) et les barres d'erreur représentent les erreurs standards.

5.3. Hypothèse 3 – Certaines dimensions de la charge de travail perçue, évaluées à l’aide du questionnaire NASA-TLX (exigence mentale et exigence physique), devraient être associées à l’évolution de la fatigue subjective et des performances au cours de la tâche

Cette troisième hypothèse cherche à déterminer si les dimensions d’exigence mentale et physique perçues sont associées aux variations de fatigue subjective et de performance cognitive, et si ces associations diffèrent entre la condition simple et la condition combinée. Les résultats sont présentés dans les tableaux 4 et 5.

Tableau 4. *Corrélations entre les dimensions NASA-TLX et les variations de fatigue subjective et de performance cognitive en condition simple*

Variables	Exigence mentale	Exigence physique	Δ Fatigue subjective (VAS)	Δ Performance (TLDB)
Exigence mentale				
Exigence physique	r = .222 p = .175 [-.101 ; .502]			
Δ Fatigue subjective (VAS)	r = .130 p = .431 [-.194 ; .428]	r = .145 p = .378 [-.178 ; .441]		
Δ Performance (TLDB)	r = -.074 p = .654 [-.381 ; .247]	r = .018 p = .913 [-.299 ; .332]	r = -.187 p = .254 [-.475 ; .136]	

Note. r = coefficient de corrélation ; p = niveau de significativité ; les [] représentent les intervalles de confiance à 95 %.

Des corrélations de Pearson ont été réalisées afin d’examiner les relations entre les dimensions d’exigence mentale et physique du NASA-TLX et les variations de fatigue mentale

(Δ VAS) ainsi que de performance cognitive (Δ TLDB) dans la condition simple. Aucune corrélation significative n'est observée entre l'exigence mentale et le Δ VAS ($r = .13$, $p = .431$) ni entre l'exigence mentale et le Δ TLDB ($r = -.07$, $p = .654$). De même, aucune corrélation significative n'est retrouvée entre l'exigence physique et le Δ VAS ($r = .15$, $p = .378$) ni entre l'exigence physique et le Δ TLDB ($r = .02$, $p = .913$).

Tableau 5. *Corrélations entre les dimensions NASA-TLX et les variations de fatigue subjective et de performance cognitive en condition combinée*

Variables	Exigence mentale	Exigence physique	Δ Fatigue subjective (VAS)	Δ Performance (TLDB)
Exigence mentale				
Exigence physique	$r = .170$ $p = .301$ [-.154 ; .461]			
Δ Fatigue subjective (VAS)	$r = .390$ $p = .014$ [.085 ; .628]	$r = .200$ $p = .222$ [-.123 ; .485]		
Δ Performance (TLDB)	$r = .290$ $p = .073$ [-.028 ; .555]	$r = -.355$ $p = .027$ [-.603 ; -.044]	$r = .160$ $p = .330$ [-.164 ; .453]	

Note. r = coefficient de corrélation ; p = niveau de significativité ; les [] représentent les intervalles de confiance à 95 %.

Dans la condition combinée, une corrélation positive significative est observée entre l'exigence mentale perçue et l'évolution de la fatigue mentale subjective ($r = .39$, $p = .014$), indiquant qu'une exigence mentale plus élevée est associée à une augmentation de la fatigue ressentie au cours de la tâche. Aucune corrélation significative n'est retrouvée entre l'exigence mentale et l'évolution des performances cognitives ($r = .29$, $p = .073$), bien qu'une tendance positive soit observée. Concernant l'exigence physique, aucune association significative n'est

observée avec l'évolution de la fatigue subjective ($r = .20$, $p = .222$). En revanche, une corrélation négative significative est retrouvée entre l'exigence physique et l'évolution des performances cognitives ($r = -.36$, $p = .027$), suggérant qu'une perception plus élevée de l'effort physique est associée à une diminution des performances au cours du temps à la TLDB. Ce résultat met en évidence un lien entre la fatigue perçue et la fatigabilité cognitive, suggérant une interaction entre les dimensions physiques et cognitives de la fatigue en condition combinée.

6. Discussion

La présente section a pour objectif d'interpréter les résultats obtenus à la lumière de la littérature existante, tout en mettant en évidence les limites de cette étude ainsi que les perspectives de recherches futures.

L'objectif de ce mémoire est d'examiner l'impact d'une activité physique sur la fatigue objective, c'est-à-dire les performances, ainsi que sur la fatigue subjective, c'est-à-dire la fatigue ressentie. Pour répondre à cette question, plusieurs mesures complémentaires ont été utilisées afin d'évaluer à la fois l'évolution du ressenti de fatigue et celle des performances au cours des différentes conditions expérimentales.

6.1. Interprétation de la fatigue subjective

La fatigue subjective constitue une dimension essentielle du phénomène de fatigue, dans la mesure où elle renvoie au ressenti vécu par l'individu au cours de l'effort, et ne se confond pas nécessairement avec l'évolution des performances objectives (Behrens et al., 2023 ; Kluger et al., 2013 ; Skau et al., 2021). Dans cette perspective, le recours à des Échelles Visuelles Analogiques apparaît particulièrement pertinent, car elles permettent d'évaluer simplement, rapidement et de manière répétée l'évolution du ressenti de fatigue au fil du temps, ce qui les rend adaptées à l'étude d'un état de fatigue transitoire (Díaz-García et al., 2021). Plusieurs travaux soulignent en effet l'intérêt d'intégrer des mesures subjectives afin de mieux appréhender un phénomène multidimensionnel, susceptible d'évoluer indépendamment de la performance observée (Behrens et al., 2023 ; Pattyn et al., 2018 ; Skau et al., 2021). Dans le

cadre de la présente étude, les VAS constituaient donc un outil adapté pour suivre l'évolution du ressenti de fatigue dans les différentes conditions expérimentales.

Les résultats montrent une augmentation significative de la fatigue subjective au cours du temps, dans les deux conditions expérimentales. Cette augmentation est observée aussi bien lorsque la tâche cognitive est réalisée seule que lorsqu'elle est réalisée simultanément à une activité physique. En revanche, aucune différence significative n'est observée entre les deux conditions, et l'interaction entre le temps et la condition n'atteint pas le seuil de significativité. Ainsi, les résultats ne permettent pas de conclure que l'ajout d'une activité physique modifie le niveau global de fatigue subjective ou son évolution au cours de la tâche. Les moyennes marginales estimées montrent effectivement une augmentation du ressenti de fatigue entre le début et la fin de la tâche dans les deux conditions, avec une évolution globalement similaire.

Cette augmentation semble donc principalement liée au maintien prolongé de l'engagement cognitif plutôt qu'à l'ajout d'une activité physique simultanée. Ces résultats suggèrent que la réalisation prolongée de la tâche cognitive a suffi à entraîner une augmentation du ressenti subjectif de fatigue, indépendamment de la présence d'une activité physique. Cette observation rejoint les travaux de Boksem et Tops (2008), qui décrivent la fatigue mentale comme une expérience subjective pouvant apparaître au cours ou à la suite d'une activité cognitive prolongée. Cette observation est également compatible avec les travaux de Pattyn et al. (2018), qui soulignent la complexité de la fatigue cognitive et l'importance des exigences de la tâche dans son évolution. Toutefois, contrairement à l'hypothèse formulée au départ, l'ajout d'une activité physique n'a pas entraîné d'augmentation supplémentaire significative de la fatigue subjective. Ces résultats ne rejoignent donc pas directement l'interprétation selon laquelle la combinaison d'une tâche cognitive et d'une activité physique conduirait nécessairement à une accumulation plus importante des contraintes ou à une accélération du ressenti de fatigue. Dans le cadre de la présente étude, l'augmentation observée semble plutôt être principalement portée par la composante cognitive de la tâche, sans qu'un effet additionnel de la charge physique puisse être mis en évidence.

Ces résultats nuancent également les modèles qui mettent l'accent sur une augmentation du coût perçu de l'effort lorsque plusieurs exigences sont réalisées simultanément (Boksem & Tops, 2008 ; Müller & Apps, 2019 ; Wright, 2008). Ces modèles restent pertinents pour décrire les mécanismes généraux de la fatigue et de l'évaluation de l'effort, mais ils ne permettent pas, dans le présent protocole, de conclure que la composante physique s'est ajoutée à la charge cognitive de manière suffisamment importante pour modifier le ressenti de fatigue. Les résultats

obtenus suggèrent plutôt que l'augmentation de la fatigue est principalement liée à l'engagement mental prolongé dans la tâche cognitive. Cette interprétation est compatible avec l'idée que les différentes dimensions de la fatigue peuvent évoluer de manière relativement indépendante et que le ressenti subjectif ne reflète pas nécessairement l'ensemble des contraintes imposées par la situation expérimentale (Kluger et al., 2013 ; Skau et al., 2021). Ainsi, contrairement à ce qui était attendu, la réalisation simultanée de l'activité physique n'a pas conduit à une trajectoire de fatigue subjective significativement différente de celle observée lors de la tâche cognitive seule.

6.2. Interprétation de la fatigue objective

Au-delà du ressenti subjectif, la fatigue peut également se traduire par une altération des performances cognitives, ce qui rend nécessaire l'utilisation de mesures objectives complémentaires. Dans cette perspective, la tâche Time Load Dual Back apparaît particulièrement pertinente, dans la mesure où elle sollicite de manière continue l'attention et la mémoire de travail et a été conçue pour étudier les effets de demandes cognitives soutenues sur la fatigue cognitive (Borragán et al., 2017). Son intérêt réside ainsi dans sa capacité à mettre en évidence une éventuelle fatigabilité cognitive, c'est-à-dire une diminution ou une variation mesurable des performances en réponse à un effort prolongé, ce qui permet d'appréhender la fatigue au-delà du seul ressenti subjectif (Kluger et al., 2013 ; Skau et al., 2021). Dans le cadre de la présente étude, la TLDB constituait donc un outil adapté pour suivre l'évolution des performances au cours des différentes conditions expérimentales et examiner dans quelle mesure l'ajout d'une activité physique pouvait moduler cette évolution.

Concernant les performances objectives, les résultats montrent une variation significative au cours du temps, principalement caractérisée par une différence entre les premiers blocs, sans qu'une diminution progressive clairement établie ne soit observée entre l'ensemble des temps de mesure. Par ailleurs, les performances apparaissent globalement plus faibles dans la condition combinée que dans la condition simple, ce qui suggère une association entre la présence de l'activité physique et le niveau général de performance cognitive. Toutefois, bien que les moyennes marginales aillent dans ce sens, l'interaction entre la condition et le temps n'est pas significative, ce qui invite à interpréter cette différence avec prudence.

Ces résultats suggèrent que la réalisation de la tâche cognitive s'accompagne d'une variation des performances au cours du temps, ce qui peut être interprété comme l'expression d'une fatigabilité liée à l'effort soutenu. Les performances sont également globalement plus faibles en condition combinée qu'en condition simple. Toutefois, l'absence d'interaction significative entre la condition et le temps ne permet pas de conclure que leur évolution temporelle diffère selon la condition expérimentale. Les différences observées entre les conditions demeurent avant tout descriptives et ne permettent pas de conclure à une modulation spécifique de l'évolution temporelle des performances par la double tâche.

Ces résultats sont globalement cohérents avec les travaux montrant qu'un engagement cognitif prolongé peut s'accompagner de variations des performances, en particulier lorsque la tâche sollicite de manière continue l'attention et la mémoire de travail (Boksem & Tops, 2008 ; Pattyn et al., 2018). Dans cette perspective, la variation des performances observée au cours de la tâche peut être comprise comme l'expression d'une fatigabilité cognitive liée à l'accumulation du coût perçu de l'effort, conformément aux modèles qui insistent sur le rôle central de la perception de l'effort dans la régulation de la performance (Müller & Apps, 2019 ; Wright, 2008 ; Halperin & Vigotsky, 2024). L'association d'une activité physique à la tâche cognitive va également dans le sens des travaux suggérant que la double tâche peut augmenter la charge globale imposée à l'individu et compliquer le maintien d'un niveau de performance stable dans le temps (Behrens et al., 2023 ; Jin et al., 2024). Néanmoins, cette tendance doit être interprétée avec prudence, d'autant que la littérature rapporte des effets variables selon la nature des tâches, leur intensité et les caractéristiques des participants, certains travaux montrant des altérations des performances tandis que d'autres ne mettent pas en évidence d'effet marqué (Holgado et al., 2023 ; McMorris et al., 2018).

6.3. Relation entre fatigue subjective et objective

Les résultats de la présente étude suggèrent que l'augmentation du ressenti subjectif de fatigue ne se superpose pas nécessairement de manière parfaite à l'évolution des performances objectives, et ce indépendamment de la condition expérimentale. En effet, alors que la fatigue subjective augmente de manière significative au cours du temps, la performance à la TLDB suit une trajectoire différente, marquée par une variation plus prononcée entre les premiers blocs, suivie d'une relative stabilisation. Cette dissociation temporelle rejoint l'idée selon laquelle la

fatigue subjective et la fatigabilité objective constituent deux dimensions distinctes mais complémentaires du phénomène de fatigue (Behrens et al., 2023 ; Kluger et al., 2013 ; Skau et al., 2021). Elle peut également s'expliquer par le fait que la performance dépend non seulement du niveau de fatigue ressenti, mais aussi de facteurs tels que la motivation, l'investissement dans la tâche et les mécanismes de compensation mis en place pour maintenir un certain niveau d'efficacité malgré l'effort prolongé (Enoka & Duchateau, 2016 ; Matthews et al., 2023 ; Wright, 2008). Ainsi, un participant peut rapporter une fatigue subjective croissante tout en stabilisant relativement ses performances après une phase initiale de baisse, ce qui illustre que le ressenti et la performance ne suivent pas nécessairement le même rythme d'évolution au cours d'une même tâche. Dans cette perspective, les résultats observés dans cette étude soutiennent l'intérêt d'une approche multidimensionnelle de la fatigue, intégrant simultanément les mesures subjectives et objectives afin de mieux rendre compte de la complexité du phénomène.

6.4. Effet de la condition combinée

Les résultats de la présente étude doivent, avant tout, être interprétés avec prudence. Si les moyennes marginales suggèrent une différence entre les deux conditions au niveau des performances cognitives, les analyses statistiques ne mettent pas en évidence d'interaction robuste entre la condition et le temps. Il apparaît donc plus juste de considérer que la condition combinée est associée à des performances cognitives globalement plus faibles, sans conclure qu'elle entraîne systématiquement une augmentation de la fatigue subjective ou une modification de son évolution temporelle. Cette nuance est cohérente avec la littérature, qui montre que les effets de l'association entre fatigue mentale et activité physique ne sont pas toujours homogènes et peuvent varier selon la nature des tâches, leur intensité et les caractéristiques des participants (Holgado et al., 2023 ; McMorris et al., 2018).

Dans ces limites, le contraste observé entre les deux mesures reste néanmoins informatif. La performance cognitive est significativement plus faible en condition combinée, alors que la fatigue subjective, elle, n'est affectée ni dans son niveau global ni dans son évolution par la présence de l'activité physique. Une interprétation possible de ce contraste est que la double contrainte n'aggraverait pas la fatigue ressentie parce que celle-ci serait principalement portée par la composante mentale de la tâche, l'ajout du pédalage venant alors davantage peser sur

l'exécution cognitive elle-même que sur le ressenti global de fatigue. Cette lecture reste toutefois à nuancer : elle n'est pas pleinement confirmée par les scores au NASA-TLX, qui indiquent, en condition combinée, une association entre l'exigence physique perçue et la baisse des performances (voir section 6.5), ce qui suggère que la composante physique de la tâche n'est pas totalement absente du vécu des participants, même si elle ne se traduit pas par une fatigue subjective globalement plus élevée.

Cette interprétation doit être mise en relation avec les modèles qui décrivent la fatigue comme un signal adaptatif lié à l'évaluation continue du coût de l'effort, plutôt que comme un simple épuisement des ressources (Behrens et al., 2023 ; Boksem & Tops, 2008 ; Müller & Apps, 2019). Dans cette perspective, l'ajout d'une activité physique à une tâche cognitive pourrait théoriquement accroître la charge perçue et rendre le maintien de la performance plus difficile, car les ressources attentionnelles, motivationnelles et comportementales doivent être réparties entre plusieurs exigences concurrentes (Wright, 2008 ; Halperin & Vigotsky, 2024). Les effets de l'activité physique semblent donc concerner davantage le niveau général de performance cognitive que la progression de la fatigue subjective au cours de la tâche.

Cette dissociation entre performance et ressenti rejoint par ailleurs le constat déjà établi en section 6.3 : la fatigue subjective et la fatigabilité objective ne suivent pas nécessairement la même dynamique. Ici, cette dissociation prend une forme particulière, puisqu'elle ne concerne pas seulement leur évolution au cours du temps, mais également leur sensibilité à l'ajout d'une contrainte physique : la performance y est sensible, le ressenti ne l'est pas. Ces résultats invitent donc à considérer que les effets de l'activité physique sur la fatigue combinée peuvent se manifester de façon sélective, en affectant la performance sans nécessairement affecter le ressenti global, plutôt que de façon uniforme sur l'ensemble des dimensions du phénomène.

6.5. Charge de travail perçue et fatigue

Le NASA-TLX constitue un outil pertinent pour évaluer la charge de travail perçue, puisqu'il permet d'appréhender plusieurs dimensions complémentaires de l'expérience de tâche, notamment l'exigence mentale et l'exigence physique. La littérature souligne en effet que la charge de travail subjective ne dépend pas uniquement des caractéristiques objectives de la tâche, mais aussi de la manière dont elles sont perçues par l'opérateur, ce qui en fait une

mesure particulièrement adaptée pour compléter les évaluations de fatigue subjective et de performance objective (Hart & Staveland, 1988 ; Kusmawan et al., 2024).

Les résultats de cette troisième hypothèse montrent que, dans la condition simple, aucune association significative n'est observée entre les exigences mentale et physique perçues et l'évolution de la fatigue subjective ou de la performance cognitive. En revanche, dans la condition combinée, l'exigence mentale perçue est positivement associée à l'augmentation de la fatigue subjective, tandis que l'exigence physique perçue est négativement associée à l'évolution des performances cognitives. Ces résultats suggèrent donc que, dans la condition combinée, certaines dimensions de la charge de travail perçue sont associées aux variations subjectives et comportementales observées au cours de la tâche.

Cette différence entre les conditions peut s'interpréter comme le reflet d'une association plus étroite entre la perception des exigences de la tâche et les variations de la fatigue subjective ou des performances lorsque l'activité est réalisée simultanément à une activité physique. Plus précisément, une exigence mentale perçue comme plus élevée est associée à une augmentation plus importante de la fatigue subjective, tandis qu'une exigence physique perçue comme plus élevée est associée à une diminution des performances cognitives. Toutefois, ces résultats ne signifient pas que la fatigue subjective est globalement plus élevée en condition combinée, ni que l'activité physique entraîne nécessairement une augmentation de la fatigue. Ils indiquent plutôt que, dans la condition combinée, la perception des exigences de la tâche est liée à certaines variations individuelles du ressenti de fatigue et des performances.

Cette interprétation est cohérente avec les modèles qui envisagent la fatigue comme un phénomène dynamique lié à l'évaluation du coût de l'effort plutôt qu'à un simple épuisement des ressources (Behrens et al., 2023 ; Boksem & Tops, 2008 ; Müller & Apps, 2019). Elle rejoint également les travaux de Hart et Staveland (1988), pour qui la charge de travail subjective reflète l'interaction entre les exigences de la tâche et les caractéristiques de l'individu. Dans la présente étude, l'exigence mentale perçue semble ainsi être particulièrement liée à la variation de la fatigue subjective en condition combinée, tandis que l'exigence physique perçue semble davantage associée à la variation des performances cognitives. Ces résultats doivent néanmoins être interprétés avec prudence, compte tenu du caractère exploratoire des analyses et de l'impossibilité d'inférer une relation causale à partir de corrélations. Enfin, ces résultats s'inscrivent dans la littérature qui souligne que la charge de travail perçue et le ressenti de fatigue ne se superposent pas nécessairement à la performance objective. Ils soutiennent ainsi

l'intérêt d'une approche multidimensionnelle combinant mesures subjectives et objectives (Kluger et al., 2013 ; Skau et al., 2021).

6.6. Limites de l'étude

Bien que les résultats obtenus apportent des éléments de réponse intéressants à la question de recherche, ils doivent être interprétés à la lumière de certaines limites méthodologiques. Ces limites n'enlèvent pas la pertinence de l'étude, mais elles permettent de mieux situer la portée des résultats et d'orienter les améliorations possibles pour de futures recherches. Dans cette perspective, plusieurs aspects liés au protocole, aux mesures et à l'échantillon méritent d'être discutés.

Une première limite concerne la procédure d'interruption régulière de la TLDB pour la passation des Échelles Visuelles Analogiques. Si cette interruption était identique dans les deux conditions, son impact n'était pas équivalent. En condition de fatigue mentale simple, les participants pouvaient reprendre directement la tâche cognitive, tandis qu'en condition combinée, ils devaient non seulement se réengager dans la TLDB, mais également reprendre simultanément l'activité physique. Ce décalage dans la reprise a pu entraîner une perte de stimuli au moment du redémarrage, ce qui constitue une difficulté procédurale propre à la condition combinée. Dès lors, les performances observées dans cette condition ont pu être influencées, au moins en partie, par ce coût de transition supplémentaire, indépendamment de l'effet de fatigue recherché.

Une deuxième limite porte sur la composition de l'échantillon, majoritairement constitué de jeunes adultes et présentant un profil relativement homogène. Bien que ce choix soit cohérent avec les critères d'inclusion retenus, il restreint la portée des résultats à cette tranche d'âge spécifique et à des participants présentant des caractéristiques relativement proches. Or, la littérature souligne que la fatigue constitue un phénomène multidimensionnel, dont l'expression varie selon les individus, les caractéristiques de la tâche, ainsi que selon le contexte d'induction (Behrens et al., 2023 ; Skau et al., 2021). Les conclusions de cette étude doivent donc être interprétées avec prudence lorsqu'il s'agit de les généraliser à des populations plus âgées ou présentant des profils plus diversifiés.

Une autre limite réside dans le caractère segmenté et la durée relativement courte de la TLDB dans le présent protocole. Borragán et al. (2017) décrivent cette tâche comme un paradigme de charge cognitive soutenue, dans lequel l'augmentation de la fatigue dépend de la mobilisation continue des ressources au fil du temps. Or, dans la présente étude, la tâche était interrompue toutes les cinq minutes pour la passation des Échelles Visuelles Analogiques, ce qui a fragmenté l'effort cognitif et a pu réduire la continuité de l'induction de fatigue mentale. De plus, la durée totale de la tâche (20 minutes) reste inférieure à celle utilisée dans certaines études de référence, qui emploient des tâches cognitives prolongées de 30 à 90 minutes (par exemple, Marcora et al., 2009 ; Van Cutsem et al., 2017). Si cette procédure a permis de suivre finement l'évolution subjective de la fatigue, elle a également pu limiter l'apparition d'effets plus marqués sur la fatigue objective et modifier la dynamique d'installation de la fatigue au cours de la tâche.

Enfin, une dernière limite concerne un possible effet de familiarisation entre les deux séances expérimentales. Bien que l'ordre des conditions ait été contrebalancé, les participants pouvaient gagner en aisance avec le matériel, les consignes et le déroulement de la tâche au cours de la seconde passation. Cette familiarisation a pu réduire une partie de la charge cognitive liée à la prise en main du protocole, notamment en diminuant l'effort nécessaire pour se réengager dans la TLDB et pour gérer les interruptions imposées par les VAS. Dès lors, une part des différences observées entre les conditions pourrait refléter, au moins en partie, un effet d'apprentissage ou d'habituation, plutôt qu'un effet lié uniquement à la fatigue induite.

6.7. Perspectives de recherches futures

Les limites identifiées dans cette étude ouvrent plusieurs pistes d'amélioration pour de futures recherches.

Concernant la procédure d'interruption régulière de la TLDB, plusieurs ajustements protocolaires pourraient être envisagés. Une solution consisterait à allonger le temps entre la dernière question des Échelles Visuelles Analogiques et la reprise de la tâche, afin de réduire le coût de transition, particulièrement en condition combinée. Une deuxième solution consisterait à permettre aux participants de relancer la TLDB uniquement lorsqu'ils sont prêts, en appuyant sur un bouton de la manette. En condition combinée, cela leur permettrait d'abord de redémarrer le vélo et d'atteindre la cadence cible avant de démarrer la tâche. Enfin, au niveau des analyses,

exclure les premiers items de chaque bloc de la TLDB (par exemple, les dix premiers) permettrait de ne pas prendre en compte la phase de transition immédiate après les Échelles Visuelles Analogiques, où les performances sont susceptibles d'être affectées par le coût de reprise.

Concernant la composition de l'échantillon, élargir les critères d'inclusion dans de futures recherches permettrait de tester la généralisation des effets observés. Intégrer des tranches d'âge plus variées (par exemple, des adolescents ou des personnes de plus de 30 ans) permettrait de déterminer si les effets se généralisent à d'autres populations, chez lesquelles les mécanismes de régulation de l'effort et de la fatigue pourraient différer (Behrens et al., 2023). Répliquer le protocole auprès d'échantillons cliniques ou professionnels (par exemple, des populations exposées à des exigences cognitives et physiques combinées dans leur activité quotidienne) permettrait d'évaluer la portée écologique des résultats au-delà du contexte de laboratoire.

Concernant le caractère segmenté et la durée relativement courte de la TLDB, plusieurs aménagements pourraient être envisagés. Espacer davantage les interruptions destinées à la passation des Échelles Visuelles Analogiques, par exemple toutes les dix ou quinze minutes plutôt que toutes les cinq minutes, permettrait de préserver une mobilisation plus continue des ressources, conformément au paradigme de charge soutenue décrit par Borragán et al. (2017). Une autre piste consisterait à comparer directement une condition avec passation continue de la TLDB et une condition segmentée, afin de quantifier précisément l'effet de la fragmentation sur la dynamique d'installation de la fatigue. Enfin, allonger la durée totale de la tâche (par exemple, 30, 60 ou 90 minutes) permettrait de mieux capturer la dynamique temporelle de la fatigue et d'observer des effets plus marqués sur la fatigue objective (Marcora et al., 2009 ; Van Cutsem et al., 2017).

Concernant l'effet de familiarisation entre les deux séances, plusieurs améliorations méthodologiques sont possibles. Ajouter une séance ou une phase d'entraînement à la TLDB et à la manette, indépendante des sessions expérimentales, permettrait aux participants d'atteindre un niveau de performances stable avant le début des mesures. Allonger l'intervalle temporel entre les deux séances pourrait limiter le report d'apprentissage d'une session à l'autre. Enfin, intégrer une mesure explicite du degré de familiarité perçue par les participants avec la tâche et le matériel à l'issue de chaque séance permettrait de contrôler statistiquement cet effet a posteriori.

Enfin, il serait pertinent, dans de futures recherches, d'évaluer la fatigue au-delà de l'instant T capté par le protocole actuel. La présente étude se concentre sur la fatigue mesurée pendant la tâche et immédiatement après celle-ci, mais la littérature souligne que la fatigue mentale peut s'inscrire dans une dynamique temporelle plus large et avoir des effets résiduels sur le fonctionnement au cours de la journée (Behrens et al., 2023). Intégrer des mesures répétées de fatigue subjective et, lorsque cela est possible, de fatigabilité objective à différents moments après la passation (par exemple, quelques heures plus tard) permettrait de mieux caractériser l'évolution de la fatigue à moyen terme et d'examiner ses retombées sur les activités quotidiennes.

7. Conclusion générale

Ce mémoire avait pour objectif d'examiner l'influence d'une activité physique, réalisée conjointement à une tâche cognitive, sur la fatigue, en distinguant ses dimensions subjective et objective. Plus précisément, ce travail visait à déterminer comment une tâche cognitive soutenue influence l'évolution de la fatigue perçue et de la fatigabilité, et dans quelle mesure l'ajout d'une activité physique simultanée modifie ces effets. Cette question s'inscrivait dans un cadre où la fatigue mentale et la fatigue physique restent encore insuffisamment étudiées de manière conjointe, en particulier lorsqu'elles sont induites simultanément dans une situation de double tâche.

Les résultats obtenus apportent plusieurs éléments de réponse. La fatigue subjective augmente significativement au cours du temps, mais cette augmentation est observée de manière similaire dans les deux conditions expérimentales : ni le niveau global de fatigue subjective ni son évolution temporelle ne diffèrent significativement selon la présence ou l'absence de l'activité physique. Les performances à la TLDB, quant à elles, apparaissent globalement plus faibles en condition combinée qu'en condition simple, sans que cette différence ne se traduise par une dégradation progressive plus marquée au fil du temps. Enfin, des associations significatives entre certaines dimensions de la charge de travail perçue et les variations de la fatigue subjective ou des performances cognitives sont observées en condition combinée, l'exigence mentale étant associée à une augmentation de la fatigue subjective, tandis que l'exigence physique est associée à une diminution des performances cognitives.

Ces résultats mettent ainsi en évidence un contraste marqué entre les deux dimensions de la fatigue étudiées. Alors que la performance cognitive apparaît sensible à l'ajout de l'activité physique, le ressenti subjectif de fatigue, lui, ne l'est pas. Une interprétation possible de ce contraste est que l'augmentation de la fatigue subjective soit principalement liée à la composante mentale commune aux deux conditions, tandis que l'ajout de l'activité physique semble davantage peser sur l'exécution de la tâche elle-même que sur son ressenti global. Cette lecture reste toutefois à nuancer, dans la mesure où les scores au NASA-TLX indiquent, en condition combinée, une association entre l'exigence physique perçue et la baisse des performances, suggérant que la perception de la composante physique est néanmoins associée à certaines variations de la performance cognitive en condition combinée. Ces résultats invitent donc à considérer que les effets de l'activité physique dans une situation de double tâche peuvent se manifester de façon sélective, plutôt que de façon uniforme sur l'ensemble des dimensions du phénomène.

De ce fait, ce mémoire souligne l'intérêt d'une approche multidimensionnelle de la fatigue, combinant mesures subjectives et objectives plutôt que de se limiter à l'une ou l'autre, ces deux dimensions n'évoluant pas nécessairement de manière parallèle ni selon les mêmes déterminants. Il met également en évidence que des associations entre la charge de travail perçue et les variations de la fatigue subjective ou des performances cognitives sont observées en situation de double tâche, alors qu'aucune association significative n'est observée lorsque la tâche est réalisée seule.

Ces résultats doivent être interprétés à la lumière des limites méthodologiques évoquées précédemment, notamment celles liées à la procédure d'interruption de la TLDB, à l'homogénéité de l'échantillon, au caractère segmenté et à la durée relativement courte de la tâche cognitive, ainsi qu'à un possible effet de familiarisation entre les séances. Ces limites ouvrent cependant des perspectives concrètes pour de futures recherches, notamment des ajustements du protocole d'interruption, un élargissement de l'échantillon à des populations plus diversifiées, un allongement de la tâche cognitive, ainsi qu'une évaluation de la fatigue au-delà de l'instant capté par le protocole actuel.

En conclusion, ce mémoire souligne que l'association d'une activité physique à une tâche cognitive soutenue est liée à une diminution globale des performances cognitives à la TLDB, sans pour autant modifier le ressenti global de fatigue mesuré par les Échelles Visuelles Analogiques, révélant ainsi la complexité et le caractère dissocié des liens entre ces deux dimensions. Il invite ainsi à poursuivre l'étude de la fatigue dans les situations de double tâche

à travers des approches intégrant simultanément ses composantes subjectives, comportementales et physiologiques.

8. Bibliographie

- 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>
- Behrens, M., Gube, M., Chaabene, H., Prieske, O., Zenon, A., Broscheid, K.-C., Schega, L., Husmann, F., & Weippert, M. (2023). Fatigue and Human Performance : An Updated Framework. *Sports Medicine*, 53(1), 7-31. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01748-2>
- 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>
- Borg, G. A. V. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. Human Kinetics.
- Borragán, G., Slama, H., Bartolomei, M., & Peigneux, P. (2017). Cognitive fatigue : A Time-based Resource-sharing account. *Cortex*, 89, 71-84. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.01.023>
- Boyas, S., & Guével, A. (2011). Neuromuscular fatigue in healthy muscle : Underlying factors and adaptation mechanisms. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 54(2), 88-108. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2011.01.001>
- Díaz-García, J., González-Ponce, I., Ponce-Bordón, J., López-Gajardo, M., Ramírez-Bravo, I., Rubio-Morales, A., & García-Calvo, T. (2021). Mental Load and Fatigue Assessment Instruments : A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(1), 419. <https://doi.org/10.3390/ijerph19010419>
- Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2016). Translating Fatigue to Human Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(11), 2228-2238. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000929>
- Halperin, I., & Vigotsky, A. D. (2024). An Integrated Perspective of Effort and Perception of Effort. *Sports Medicine*, 54(8), 2019-2032. <https://doi.org/10.1007/s40279-024-02055-8>

- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index) : Results of empirical and theoretical research. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human mental workload* (pp. 139-183). North-Holland.
- Holgado, D., Jolidon, L., Borragán, G., Sanabria, D., & Place, N. (2023). Individualized Mental Fatigue Does Not Impact Neuromuscular Function and Exercise Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 55(10), 1823-1834. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003221>
- Holgado, D., Sanabria, D., Perales, J. C., & Vadillo, M. A. (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), 38. <https://doi.org/10.5334/joc.126>
- Jin, H., Xiao, M., Liu, L., Kan, S., Fu, Y., & Zhang, D. (2024). Relationship between physical fatigue and mental fatigue based on multimodal measurement under different load levels. *Ergonomics*, 67(11), 1748-1763. <https://doi.org/10.1080/00140139.2024.2364667>
- Kluger, B. M., Krupp, L. B., & Enoka, R. M. (2013). Fatigue and fatigability in neurologic illnesses : Proposal for a unified taxonomy. *Neurology*, 80(4), 409-416. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e31827f07be>
- Kuppuswamy, A. (2017). The fatigue conundrum. *Brain*, 140(8), 2240-2245. <https://doi.org/10.1093/brain/awx153>
- Kusmawan, D., Izhar, M. D., & Aswin, B. (2024). Assessing the relationship between mental workload and work fatigue among oil and gas workers in PT X, Jambi Province, Indonesia : PLS-SEM analysis. *Journal of Public Health Research*, 13(4), 22799036241287660. <https://doi.org/10.1177/22799036241287660>
- Marcora, S. M., Staiano, W., & Manning, V. (2009). Mental fatigue impairs physical performance in humans. *J Appl Physiol*, 106.
- Matthews, J., Pisauro, M. A., Jurgelis, M., Müller, T., Vassena, E., Chong, T. T.-J., & Apps, M. A. J. (2023). Computational mechanisms underlying the dynamics of physical and cognitive fatigue. *Cognition*, 240, 105603. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2023.105603>

- McCormack, H. M., Horne, D. J. de L., & Sheather, S. (1988). Clinical applications of visual analogue scales : A critical review. *Psychological Medicine*, 18(4), 1007-1019. <https://doi.org/10.1017/S0033291700009934>
- McMorris, T. (2020). Cognitive Fatigue Effects on Physical Performance : The Role of Interoception. *Sports Medicine*, 50(10), 1703-1708. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01320-w>
- 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 & Behavior*, 188, 103-107. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.01.029>
- Müller, T., & Apps, M. A. J. (2019). Motivational fatigue : A neurocognitive framework for the impact of effortful exertion on subsequent motivation. *Neuropsychologia*, 123, 141-151. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.04.030>
- Pattyn, N., Van Cutsem, J., Dessy, E., & Mairesse, O. (2018). Bridging Exercise Science, Cognitive Psychology, and Medical Practice : Is “Cognitive Fatigue” a Remake of “The Emperor’s New Clothes”? *Frontiers in Psychology*, 9, 1246. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01246>
- Pessiglione, M., Blain, B., Wiehler, A., & Naik, S. (2025). Origins and consequences of cognitive fatigue. *Trends in Cognitive Sciences*, S1364661325000567. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2025.02.005>
- Phillips, R. O. (2015). A review of definitions of fatigue – And a step towards a whole definition. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 29, 48-56. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2015.01.003>
- Silva-Cavalcante, M. D., Couto, P. G., Azevedo, R. D. A., Silva, R. G., Coelho, D. B., Lima-Silva, A. E., & Bertuzzi, R. (2018). Mental fatigue does not alter performance or neuromuscular fatigue development during self-paced exercise in recreationally trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, 118(11), 2477-2487. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-3974-0>
- Skau, S., Sundberg, K., & Kuhn, H.-G. (2021). A Proposal for a Unifying Set of Definitions of Fatigue. *Frontiers in Psychology*, 12, 739764. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.739764>

- Slimani, M., Znazen, H., Bragazzi, N., Zguira, M., & Tod, D. (2018). The Effect of Mental Fatigue on Cognitive and Aerobic Performance in Adolescent Active Endurance Athletes : Insights from a Randomized Counterbalanced, Cross-Over Trial. *Journal of Clinical Medicine*, 7(12), 510. <https://doi.org/10.3390/jcm7120510>
- 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>
- Wright, R. A. (2008). Refining the Prediction of Effort : Brehm's Distinction between Potential Motivation and Motivation Intensity. *Social and Personality Psychology Compass*, 2(2), 682-701. <https://doi.org/10.1111/j.1751-9004.2008.00093.x>

9. Annexes

Annexe 1. Questionnaire NASA-TLX

NASA-TLX

Veuillez répondre aux questions ci-dessous en inscrivant un X dans la case qui correspond le mieux à votre expérience durant la tâche qui vient de se terminer.

Exigence mentale Quelle a été l'importance de l'activité mentale et intellectuelle requise ? La tâche vous a-t-elle paru simple, nécessitant peu d'attention (faible) ou complexe, nécessitant beaucoup d'attention (élevée) ?												
Faible	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Elevée
Exigence physique Quelle a été l'importance de l'activité physique requise ? La tâche vous a-t-elle paru facile, peu fatigante, calme (faible) ou pénible, fatigante, active (élevée) ?												
Faible	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Elevée
Exigence temporelle Quelle a été l'importance de la pression temporelle causée par la rapidité nécessaire à l'accomplissement de la tâche ? Était-ce un rythme lent et tranquille (faible) ou rapide et précipité (élevé) ?												
Faible	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Elevée
Performance Quelle réussite pensez-vous avoir eu dans l'accomplissement de votre tâche ? Comment pensez-vous avoir atteint les objectifs déterminés par la tâche ?												
Faible	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Elevée
Effort Quel degré d'effort avez-vous dû fournir pour exécuter la tâche demandée (mentalement et physiquement) ?												
Faible	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Elevée
Frustration Pendant l'exécution de la tâche, vous êtes-vous senti satisfait, relaxé, sûr de vous (niveau de frustration faible), ou plutôt découragé, irrité, stressé, sans assurance (niveau de frustration élevé) ?												
Faible	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Elevée

Annexe 2. Résultats post-hoc pour l'effet principal du Temps de l'hypothèse 1

Comparaisons post hoc - Temps

Comparaison		Temps	Temps	Différence moyenne	Erreur standard	ddl	t	Ptukey	Pholm
Temps	Temps								
Bloc 0	-	Bloc 1		-0.885	0.201	38.0	-4.41	< .001	< .001
	-	Bloc 2		-1.949	0.233	38.0	-8.37	< .001	< .001
	-	Bloc 3		-2.641	0.262	38.0	-10.09	< .001	< .001
	-	Bloc 4		-2.987	0.288	38.0	-10.38	< .001	< .001
Bloc 1	-	Bloc 2		-1.064	0.136	38.0	-7.80	< .001	< .001
	-	Bloc 3		-1.756	0.189	38.0	-9.29	< .001	< .001
	-	Bloc 4		-2.103	0.220	38.0	-9.57	< .001	< .001
Bloc 2	-	Bloc 3		-0.692	0.141	38.0	-4.92	< .001	< .001
	-	Bloc 4		-1.038	0.169	38.0	-6.15	< .001	< .001
Bloc 3	-	Bloc 4		-0.346	0.119	38.0	-2.90	0.046	0.006

Annexe 3. Résultats estimation des moyennes marginales de l'évolution de la fatigue subjective en fonction des deux conditions (simple et combiné)

Estimation des moyennes marginales - Temps * Condition

Condition	Temps	Moyenne	Erreur standard	Intervalle de confiance à 95%	
				Borne inf	Supérieur
simple	Bloc 0	3.72	0.354	3.00	4.43
	Bloc 1	4.74	0.348	4.04	5.45
	Bloc 2	5.85	0.355	5.13	6.57
	Bloc 3	6.33	0.377	5.57	7.10
	Bloc 4	6.87	0.360	6.14	7.60
double	Bloc 0	3.56	0.328	2.90	4.23
	Bloc 1	4.31	0.316	3.67	4.95
	Bloc 2	5.33	0.347	4.63	6.04
	Bloc 3	6.23	0.338	5.55	6.91
	Bloc 4	6.38	0.338	5.70	7.07

Annexe 4. Résultats post-hoc pour l'effet principal du Temps de l'hypothèse 2

Comparaisons post hoc - Temps								
Comparaison			Différence moyenne	Erreur standard	ddl	t	Ptukey	Pholm
Temps		Temps						
Bloc 1	-	Bloc 2	0.01835	0.00526	38.0	3.491	0.007	0.007
	-	Bloc 3	0.01405	0.00787	38.0	1.785	0.296	0.329
	-	Bloc 4	0.00442	0.00656	38.0	0.674	0.906	1.000
Bloc 2	-	Bloc 3	-0.00431	0.00633	38.0	-0.681	0.904	1.000
	-	Bloc 4	-0.01394	0.00559	38.0	-2.494	0.077	0.086
Bloc 3	-	Bloc 4	-0.00963	0.00661	38.0	-1.457	0.473	0.460

Annexe 5. Résultats estimation des moyennes marginales de l'évolution des performances à la TLDB en fonction des deux condition (simple et combinée)

Estimation des moyennes marginales - Temps * Condition					
Condition	Temps	Moyenne	Erreur standard	Intervalle de confiance à 95%	
				Borne inf	Supérieur
simple	Bloc 1	0.923	0.00987	0.903	0.943
	Bloc 2	0.901	0.01304	0.874	0.927
	Bloc 3	0.911	0.01312	0.884	0.937
	Bloc 4	0.906	0.01426	0.877	0.934
double	Bloc 1	0.875	0.01329	0.848	0.902
	Bloc 2	0.861	0.01281	0.835	0.887
	Bloc 3	0.859	0.01681	0.825	0.893
	Bloc 4	0.884	0.01334	0.857	0.911

Annexe 6. Grille d'utilisation de l'intelligence artificielle

Dans ce cours, l'utilisation des IA Génératives pour ...	Utilisation autorisée	Utilisation de l'étudiant	Nom de/des IA générative(s) utilisée(s)
Aider à la rédaction du plan et de la structure du travail	✓		
Vérifier l'orthographe et la grammaire	✓		
Reformuler le contenu de votre travail ou améliorer le style	✓	✓	Perplexity Claude
Traduire une autre langue	✓		
Aider à la planification et gestion de projet	✓		
Obtenir des informations générales sur un sujet, expliquer et approfondir la compréhension de concepts	✓		
Faire un brainstorming et évaluer ses propres idées, pour trouver d'autres perspectives ou des contre-arguments	✓		
Aider à la recherche documentaire	✓	✓	Perplexity
Aider à la synthèse de la littérature	✓	✓	Perplexity
Aider à la formulation de questions de recherche et d'hypothèses	✓		
Aider à l'analyse de données (identification d'analyses à réaliser)	✓		
Aider à l'interprétation des résultats	✓	✓	Perplexity / Claude
Aider au respect des normes APA de la liste des références	✓		
Aider à la programmation de code et au débogage	✓		
Générer un feedback critique et révision	✓		
Créer du contenu multimédia, par exemple des images, des vidéos, des animations ou du son (mais toujours expliquer l'utilisation des IA)	✓		

10. Résumé

La fatigue constitue un phénomène multidimensionnel pouvant résulter d'un effort cognitif, physique, ou de leur combinaison. Si ces formes de fatigue sont souvent étudiées séparément, les situations quotidiennes, professionnelles ou sportives impliquent fréquemment la réalisation simultanée d'une activité physique et d'une tâche cognitive. Les effets de cette double sollicitation sur la fatigue subjective et la fatigabilité cognitive restent encore mal compris. Ce mémoire vise donc à examiner l'influence de l'ajout d'une activité physique sur l'évolution de la fatigue subjective et des performances cognitives au cours d'une tâche cognitive soutenue.

Une étude expérimentale a été menée auprès de 40 adultes en bonne santé (âge moyen : 22,8 ans), ayant réalisé, selon un ordre randomisé, deux conditions expérimentales : une condition simple (tâche cognitive seule) et une condition combinée (tâche cognitive + cyclisme). La tâche cognitive utilisée, la Time Load Dual Back (TLDB), sollicitait l'attention soutenue et la mémoire de travail. La fatigue subjective a été mesurée via des Échelles Visuelles Analogiques (VAS), les performances cognitives via le pourcentage de réponses correctes à la TLDB, et la charge de travail perçue via certaines dimensions du NASA-TLX.

Les résultats montrent une augmentation significative et progressive de la fatigue subjective au cours de la tâche, dans les deux conditions, sans différence significative entre elles. Les performances cognitives sont globalement plus faibles en condition combinée qu'en condition simple. Une variation significative des performances est observée au cours du temps, sans diminution progressive clairement établie ni interaction significative entre temps et condition. Ces résultats suggèrent que l'ajout d'une activité physique affecte davantage le niveau général de performance cognitive que la dynamique de la fatigabilité.

Des analyses exploratoires indiquent qu'en condition combinée, une exigence mentale perçue plus élevée est associée à une augmentation plus marquée de la fatigue subjective, et une exigence physique perçue plus élevée à une baisse des performances ; aucune association de ce type n'apparaît en condition simple. Dans l'ensemble, ces résultats révèlent une dissociation entre fatigue subjective et performance objective : le ressenti de fatigue augmente de façon similaire au cours du temps, quelle que soit la condition, alors que les performances sont particulièrement sensibles à la présence de l'activité physique. Ces constats soulignent l'intérêt d'une approche multidimensionnelle de la fatigue.