

Université du Québec en Outaouais

Le sommeil et la neuropsychologie du contrôle de la prise alimentaire

Essai doctoral
Présenté au
Département de psychoéducation et de psychologie

Comme exigence partielle du doctorat en psychologie,
Profil neuropsychologie clinique (D. Psy.)

Par
© Jean-François BRUNET

Mai 2021

Composition du jury

Le sommeil et la neuropsychologie du contrôle de la prise alimentaire.

Par
Jean-François Brunet

Cet essai doctoral a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Geneviève Forest, Ph.D., directrice de recherche, Département de psychologie et de psychoéducation, Université du Québec en Outaouais.

Caroline Blais, Ph.D., examinatrice interne et président du jury, Département de psychologie et de psychoéducation, Université du Québec en Outaouais.

Annie Aimé, Ph.D., examinatrice interne, Département de psychologie et de psychoéducation, Université du Québec en Outaouais.

Marie-Pierre St-Onge, Ph.D., examinatrice externe, Department of Medicine, Columbia University.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, j'aimerais remercier ma directrice de recherche, Geneviève Forest. Il n'y a tout simplement pas assez de mots pour exprimer toute la gratitude que j'ai envers toi. C'est toi qui m'as fait découvrir la neuropsychologie et le sommeil. C'est toi qui m'as fait confiance et accueilli dans ton laboratoire pendant mon baccalauréat. C'est toi qui m'as pris sous ton aile et épaulé tout au long de mon doctorat. Sans mentionner tous les hauts et les bas qui se sont présentés sur mon chemin et dans lesquels tu m'as accompagné. Sans toi, je ne serais pas qui je suis aujourd'hui... Alors... Merci!

Merci à Jessica McNeil avec qui j'ai passé d'innombrables heures pour réaliser ce projet de recherche. Ton énergie et ta passion me poussent à toujours me surpasser. Tu es une réelle inspiration. J'aimerais remercier également Luzia Jaeger Hintze, Éric Doucet et toute l'équipe de l'Unité de recherche sur le comportement et le métabolisme de l'Université d'Ottawa. Votre aide et votre compagnie pendant ce projet m'ont été très précieuses.

À tous mes amis et collègues du laboratoire de sommeil, c'est difficile de trouver les mots pour exprimer les sentiments que j'ai envers vous. Nous avons vécu tellement de choses ensemble. Vous êtes la meilleure équipe avec qui j'ai pu travailler et j'espère vous garder dans ma vie encore longtemps.

Je tiens à remercier également mes superviseurs d'internat : Jacques Bellavance, Julie Ayotte et Anne-Karine Gauthier. Sans vous, je ne serais pas le clinicien que je suis aujourd'hui. Vous m'avez permis de me développer et d'apprendre à avoir confiance en mes capacités cliniques.

Merci à ma famille et mes amis de m'avoir soutenu dans les moments plus difficiles. Merci à ma mère et mes frères de m'avoir encouragé à persévérer au cours de toutes ces années

d'étude. Il est vrai qu'on ne s'est pas vu souvent à cause de la distance et de nos emplois du temps respectifs, mais votre compréhension m'a permis de continuer sans trop me culpabiliser. Merci à ma tante, Carole, d'avoir guidé mon chemin dans la vie. Sans toi, je ne me serais pas installé en Outaouais et je n'aurais pas développé ces passions qui m'habitent aujourd'hui. Finalement, j'aimerais remercier mon père, Benoît. Tu m'as appris très tôt l'importance de s'appliquer dans ses études et de travailler fort pour avoir la chance de faire ce qu'on aime dans vie. Tu n'as malheureusement pas pu me voir cheminer très longtemps, mais peu importe où tu es maintenant, j'espère que tu es fier de moi...

RÉSUMÉ

Bien que la restriction du sommeil entraîne souvent une augmentation de l'apport énergétique (AE), une grande variabilité interindividuelle est également observée. Ceci suggère que des caractéristiques propres aux individus pourraient influencer l'AE en situation de manque de sommeil. L'objectif de cet essai est d'explorer le rôle des caractéristiques généralement associées à la prise de risque (sensibilité à la récompense, traits de personnalité tels que l'impulsivité et la recherche de sensations) et des attitudes implicites envers la nourriture dans l'impact d'une restriction de sommeil sur l'AE.

Dix-huit participants (12 hommes ; 18-33 ans) ont complété un inventaire de personnalité (NEO-PI-3), un test d'association implicite (TAI) mesurant les attitudes implicites envers les aliments considérés « santé » et « peu santé » ainsi qu'un questionnaire sur la sensibilité aux punitions et la sensibilité aux récompenses (SPSRQ). L'AE sur 24h a été évalué après une nuit de sommeil habituelle, une nuit de restriction de 50% du sommeil avec une heure de réveil devancée et une restriction de 50% du sommeil avec une heure de coucher retardée. La différence dans l'AE entre chaque condition de restriction de sommeil et la condition contrôle (Δ AE) a été calculée pour chaque participant. Le sommeil a été évalué à l'aide d'une polysomnographie standard. Enfin, l'Iowa Gambling Task (IGT), un test qui évalue la prise de décision, a été administré à midi uniquement après la condition contrôle et la condition lève-tôt afin d'éviter un effet d'apprentissage.

Malgré l'absence de changement dans l'AE globale après la perte de sommeil, les résultats ont montré de grandes variations interindividuelles (de -669 à +899 kcal). Nos résultats montrent également que les participants ont fait des choix plus risqués à l'IGT après une restriction de sommeil et que les performances étaient inversement associées à la quantité et à la diminution du sommeil paradoxal. Le trait d'impulsivité était positivement associé aux choix plus risqués dans la condition contrôle, mais n'était pas associé à Δ AE. Le trait de recherche de sensation n'était pas associé aux performances à l'IGT, mais était inversement associé à Δ AE après la perte de sommeil. Enfin, une attitude plus positive envers les aliments « peu santé » étaient également positivement associée à Δ AE, mais seulement dans la condition lève-tôt.

En somme, nos résultats supportent que le manque de sommeil altère les processus mentaux de prise de décision et qu'une grande variabilité interindividuelle est retrouvée dans l'impact d'un manque de sommeil sur l'AE. Toutefois, bien qu'un profil spécifiquement associé à la prise de risque ne semble pas expliquer cette variabilité, les résultats suggèrent que les traits de personnalité et les attitudes implicites envers la nourriture sont des facteurs clés à considérer pour expliquer les variations de l'AE après une perte de sommeil, surtout lorsque la perte survient à la fin de la nuit.

Mots clés : Privation de sommeil, Privation de sommeil paradoxal, Apport énergétique, Prise de décision, Impulsivité, Recherche de sensations, Attitudes implicites

TABLE DES MATIÈRES

COMPOSITION DU JURY	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
RÉSUMÉ.....	v
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES FIGURES.....	ix
LISTE DES ABBREVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES	x
AVANT-PROPOS	xi
CHAPITRE I	
INTRODUCTION	1
1.1. Le sommeil et ses fonctions	3
1.1.1. L’impact d’une privation de sommeil sur le fonctionnement général	4
1.2. Les fondements du choix alimentaire et les facteurs interindividuels pouvant l’influencer	7
1.2.1. Le « désir » et le « plaisir » de la nourriture	8
1.2.2. Modèle conceptuel du choix alimentaire	10
1.2.3. Autres facteurs influençant la prise alimentaire	11
1.2.3.1. Les attitudes implicites	12
1.2.3.2. Le chronotype et les comportements alimentaires	14
1.2.3.3. La génétique	15
1.3. L’effet d’une privation de sommeil sur la prise alimentaire	16
1.3.1. L’impact d’un manque de sommeil sur les hormones de l’appétit	16
1.3.2. Sommeil de courte durée et prise alimentaire	18
1.3.3. Effet d’une restriction de sommeil sur la prise alimentaire	19
1.3.3.1. Les processus mentaux de base	24
1.3.3.2. Le manque de sommeil, le système de récompense et la prise de risque	27
1.3.3.3. Les traits de personnalité liés à la prise de risque	30
1.4. Rationnel de l’essai	33
1.5. Objectif et hypothèses	34
1.5.1. Hypothèse générale	34
1.5.1.1. Hypothèse spécifique 1	34
1.5.1.2. Hypothèse spécifique 2	35
1.5.1.3. Hypothèse spécifique 3	35
CHAPITRE II	
RÉSUMÉ DU PROTOCOLE COMPLET	36
2.1. Session préliminaire	38
2.2. Sessions expérimentales	40
CHAPITRE III	
ARTICLE #1: The association between REM sleep and decision-making: Supporting evidences.....	43
3.1. Abstract	43

3.2. Introduction	44
3.3. Material and Methods	47
3.3.1. Participants	47
3.3.2. Procedures and measures	47
3.3.3. Data analysis	50
3.4. Results	51
3.5. Discussion	55
3.6. Acknowledgements	58

CHAPITRE IV

ARTICLE #2: The effects of sleep restriction on food intake: Exploring the importance of interindividual characteristics	59
4.1. Abstract	59
4.2. Introduction	60
4.3. Methods	62
4.3.1. Participants	62
4.3.2. Procedures	63
4.3.2.1. Preliminary session	64
4.3.2.2. Experimental conditions	67
4.3.3. Data analysis	69
4.4. Results	70
4.5. Discussion	75
4.6. Acknowledgements	78

CHAPITRE V

DISCUSSION	79
5.1. Le sommeil paradoxal et la prise de décision	81
5.2. La personnalité et la prise alimentaire	84
5.3. Les attitudes implicites et la prise alimentaire	88
5.4. Discussion générale des résultats	91
5.5. Forces et limites de l'étude	95
5.6. Retombées scientifiques, appliquées et psychométriques	97
5.7. Considérations futures	99
5.8. Conclusion	100

RÉFÉRENCES	102
ANNEXE A : Certificats éthiques	130
ANNEXE B : Liste des autres contributions scientifiques produites pendant la période du doctorat	132
ANNEXE C : Formulaire de consentement	135
ANNEXE D : Déjeuner standard	145
ANNEXE E : Epworth Sleepiness Scale	146
ANNEXE F : Morningness-Eveningness Questionnaire	147
ANNEXE G : Questionnaire maison	151
ANNEXE H : Agenda de sommeil	153
ANNEXE I : Menu Validé	154

LISTE DES TABLEAUX

ARTICLE #1

Tableau 1. <i>Descriptive data: sleep parameters and performance on the Iowa Gambling task during each session (n=18)</i>	52
Tableau 2. <i>Results from the multiple linear regression models presenting the associations between each predictor with Disadvantageous% during both sleep conditions.</i>	54

ARTICLE #2

Tableau 1. <i>Participant characteristics (n = 17)</i>	71
Tableau 2. <i>Descriptive statistics: food intake and sleep parameters (n=17)</i>	71
Tableau 3. <i>Comparison analysis for ΔEI (total EI and macronutrient intake)</i>	72
Tableau 4. <i>Correlations between ΔEI, and personality and implicit attitudes for the Delayed bedtime and Advanced wake time sleep conditions</i>	73
Tableau 5. <i>Results from two-step hierarchical regression models presenting the unique contribution of personality and implicit attitudes to ΔEI for both sleep restriction conditions.</i>	74

LISTE DES FIGURES

RÉSUMÉ DU PROTOCOLE COMPLET

Figure 1. *Séquence du protocole et mesures effectuées pour l'ensemble du projet de recherche effectué à l'Unité de recherche sur le comportement et le métabolisme de l'Université d'Ottawa.* 37

ARTICLE #1

Figure 1. *Results for the Wilcoxon signed-rank test conducted on the trials of the second half (last 3 blocks) of the IGT between the control and PSD conditions for each outcome: (A) Net score, %Advantageous minus %Disadvantageous; (B) %Advantageous, the percentage of advantageous decks chosen; (C) %Disadvantageous, the percentage of disadvantageous decks chosen.*..... 53

Figure 2. *Relation between the % of disadvantageous deck chosen and the amount of REM sleep for the control and PSD condition (A and B) and the differences between conditions (C) (Delta REM = PSD minus control, Delta %Disadvantageous = PSD minus control).* 54

ARTICLE #2

Figure 1. *Seven-part sequence of the Implicit Association Task.* 68

Figure 2. *Distribution of changes in energy intake (ΔEI) after a 50% sleep restriction compared to after a control sleep condition.* 72

LISTES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

AE/EI	Apport énergétique/Energy intake
EEG	Électroencéphalogramme/Electroencephalogram
EMG	Électromyogramme/Electromyogram
EOG	Électro-oculogramme/Electrooculogram
IGT	Iowa Gambling Task
IMC	Indice de masse corporelle
kcal	kilocalorie
N1	Non-REM sleep stage 1
N2	Non-REM sleep stage 2
N3	Non-REM sleep stage 3
NEO-PI-3	Neuroticism-Extraversion-Openness Personality Inventory-3
PSD/SR	Partial sleep deprivation/Sleep restriction
REM	Rapid eye movement
SPSRQ	Questionnaire sur la sensibilité à la punition et la sensibilité à la récompense/ Sensitivity to punishment and sensitivity to reward questionnaire
TAI/IAT	Test d'associations implicites/Implicit Association Test
URCM	Unité de recherche sur le comportement et le métabolisme

AVANT-PROPOS

Cet essai doctoral a été effectué dans le cadre d'un projet de plus grande envergure qui a été mené conjointement avec une étudiante au Ph. D. en science de l'activité physique de l'Université d'Ottawa, madame Jessica McNeil. Ce projet avait pour but d'explorer l'impact d'une restriction de 50% du sommeil, ainsi que le moment du sommeil, sur la balance énergétique (la nourriture/apport énergétique (en kcal) versus l'énergie dépensée). Le projet de madame McNeil s'est intéressé à la nutrition, à l'activité physique, à la satiété et à la performance olfactive. Le présent projet s'est pour sa part intéressé aux processus cognitifs, ainsi qu'aux caractéristiques psychologiques interindividuelles impliquées dans l'impact du manque de sommeil sur la prise alimentaire. La collecte des données a été effectuée à l'Unité de recherche sur le comportement et le métabolisme (URCM) de l'Université d'Ottawa. Le projet a été approuvé initialement par le comité éthique de l'Université d'Ottawa en 2014. La question de recherche et les aspects spécifiques touchant la présente étude font entièrement partie du plus grand projet et ont été approuvés par le comité éthique de l'Université du Québec en Outaouais en 2015 (voir **Annexe A**). À ce jour, quatre articles avec comité de lecture ont été publiés en lien avec le projet de recherche et un cinquième a été soumis au journal *Appetite*. Trois d'entre eux (McNeil et al., 2016; McNeil, Forest, Hintze, Brunet, & Doucet, 2017; McNeil, Forest, Hintze, Brunet, Finlayson, et al., 2017), pour lesquels le candidat est co-auteur, ne font pas partie du présent essai doctoral. Les deux articles dont le candidat est principal auteur font partie du présent essai doctoral et forment les Chapitres III et IV, respectivement. Le candidat a été personnellement impliqué dans le projet à tous les niveaux et il assume l'entière responsabilité du contenu présenté dans le document qui suit. Plus spécifiquement, avec la collaboration de la professeure Geneviève Forest, de madame Jessica McNeil et du professeur Éric Doucet, le

candidat a participé à la formulation de la question de recherche et à la conception du protocole expérimental. Mesdames McNeil, Jaeger Hintze et le candidat ont réalisé la collecte de donnée. Le candidat a effectué les analyses ayant mené à la publication des articles du présent essai et, avec le soutien de la professeure Forest, le candidat a rédigé les manuscrits présentés ici.

En plus des articles présentés dans cet essai doctoral, le candidat s'est impliqué en recherche tout au long de son cheminement dans divers projets. Une liste complète des résumés et articles ayant été produits pendant la période du doctorat, ainsi que le rôle du candidat dans ces publications se retrouve à l'**Annexe B**.

CHAPITRE I

Introduction

Dans la société moderne, les contingences sociales, les demandes et les opportunités incitent les gens à diminuer de plus en plus leur quantité de sommeil (Adams et al., 2017; Ahmed et al., 2017; Y. Liu et al., 2016). Au Canada seulement, près du tiers des adultes de 18 à 79 ans dorment moins de 7h par nuit (Chaput et al., 2017), ce qui entraîne plusieurs conséquences négatives. Notamment, une récente revue de littérature souligne que le manque de sommeil chronique peut être associé à une plus grande prévalence des troubles de l'humeur (p. ex. anxiété, dépression), mais surtout à une diminution générale de la qualité de vie (p. ex. manque d'énergie, de motivation, baisse de la performance au travail, etc.) (Magnavita & Garbarino, 2017). Les écrits soulèvent également que certaines personnes en privation de sommeil ont tendance à consommer une plus grande quantité de nourriture, ce qui peut entraîner, à long terme, un gain de poids (Brondel et al., 2010). Toutefois, les mécanismes physiologiques et psychologiques en lien avec ce constat sont encore peu explorés.

Actuellement, nous savons que la privation de sommeil a un impact sur plusieurs structures cérébrales, dont les lobes frontaux, lesquels sont entre autres responsables des mécanismes liés à la prise de décision, ce qui inclut les décisions alimentaires (Womack et al., 2013). En situation de manque de sommeil, le contrôle descendant volontaire que ces structures cérébrales exercent se retrouve diminué, ce qui laisse une plus grande place à des processus plus automatiques (p. ex. plus d'impulsivité) (Womack et al., 2013). Ceci pourrait, par exemple, affecter la décision de consommer plus ou moins un certain type de nourriture. Or, la prise de décision est un processus complexe qui implique plusieurs mécanismes et facteurs pouvant influencer la quantité et le

choix du type de nourriture consommée. Ainsi, il y aurait des différences interindividuelles dans les comportements alimentaires à la suite d'un manque de sommeil et certaines personnes seraient plus susceptibles que d'autres à consommer davantage de nourriture ou encore, à consommer davantage un certain type de nourriture (McNeil & St-Onge, 2017).

À ce jour, il y a très peu d'études qui se sont penchées sur les facteurs psychologiques ou cognitifs pouvant expliquer les raisons pour lesquelles certaines personnes vont consommer davantage, autant ou moins, suite à un manque de sommeil. À cet effet, la personnalité est un facteur qui a été investigué, les études montrant que certains traits de personnalité associés aux habitudes alimentaires (p. ex. extraversion, recherche de sensations, impulsivité) seraient également associés à une plus grande susceptibilité au manque de sommeil et à une tendance à prendre davantage de risques (Fink et al., 2010; Mishra et al., 2010; Murphy et al., 2014; Rupp et al., 2010; Sutin & Terracciano, 2017; Wang et al., 2017; Young et al., 2012). En outre, certaines attitudes inconscientes ou croyances alimentaires qui sont indépendantes des décisions « raisonnées », varient grandement d'une personne à l'autre et influencent les choix alimentaires au quotidien (Eschenbeck et al., 2016; Provencher & Jacob, 2016).

Ainsi, l'objectif de la présente étude est d'explorer le rôle des caractéristiques interindividuelles dans l'impact d'un manque de sommeil sur la prise alimentaire. Pour répondre à cet objectif, une expérimentation a été effectuée et les différents chapitres présentent les parties essentielles de ce projet. Tout d'abord, afin d'établir les bases théoriques en lien avec notre problématique, l'introduction (Chapitre I) fait état : 1) des connaissances générales sur le sommeil et ses fonctions, ainsi que de l'impact d'un manque de sommeil sur le fonctionnement général d'un individu, 2) des fondements du choix alimentaire et des facteurs pouvant l'influencer et 3) de l'impact d'un manque de sommeil sur la prise alimentaire, mais également

des pistes pouvant l'expliquer. Par la suite, le Chapitre II présente un résumé global du protocole de recherche. Les résultats sont détaillés sous forme de deux articles scientifiques en anglais dans les Chapitres III et IV. Finalement, une discussion de l'ensemble de l'essai est retrouvée au Chapitre V.

1.1. Le sommeil et ses fonctions

Le sommeil est un mécanisme dynamique (c.-à-d. différents stades d'activité neurologique qui se succèdent) et réversible (il s'agit d'un cycle veille-sommeil) retrouvé autant chez les mammifères que chez les oiseaux (Assefa et al., 2015). Il se caractérise par une diminution de l'activité physique volontaire, une diminution de la sensibilité aux stimuli et une augmentation du seuil d'éveil (Assefa et al., 2015). Une nuit de sommeil est composée de plusieurs cycles qui peuvent être divisés en quatre stades qui se succèdent : l'endormissement (N1), le sommeil léger (N2), le sommeil profond (N3) et le sommeil paradoxal (Assefa et al., 2015). Le sommeil non-paradoxal (N1 à N3) se caractérise par une diminution graduelle de l'activité cérébrale, tandis que le sommeil paradoxal diffère grandement des autres stades puisqu'il présente une activité cérébrale intense (Assefa et al., 2015; Krueger et al., 2016). L'architecture du sommeil varie au cours de la nuit. On retrouve le sommeil profond en abondance au début de la nuit, tandis que le sommeil paradoxal est davantage présent vers la fin de la nuit (Goldstein & Walker, 2014).

Bien qu'il soit clair que le sommeil est important pour le fonctionnement quotidien et que plusieurs aspects ont été explorés en recherche, les fonctions spécifiques du sommeil ne sont pas encore parfaitement comprises et on en découvre encore de nouvelles (Krueger et al., 2016). Ainsi, la plupart des théories empiriques soulignent en général que le sommeil, plus particulièrement le sommeil non-paradoxal, serait important pour la conservation et la

restauration de l'énergie, pour la réparation des tissus et pour la croissance (Assefa et al., 2015; Krueger et al., 2016). En raison de la présence de l'activité cérébrale intense pendant le sommeil paradoxal, ce stade a quant à lui suscité de nombreuses recherches chez l'homme et les animaux (Diekelmann & Born, 2010; Peever & Fuller, 2017). Notamment, il semble jouer un rôle important dans la consolidation de l'apprentissage des informations spatiales et émotionnelles (Diekelmann & Born, 2010; Peever & Fuller, 2017). De plus, le sommeil paradoxal aurait un rôle dans la réparation et la préparation de divers systèmes cognitifs pour assurer un fonctionnement optimal de l'organisme (Cai et al., 2009; Goldstein & Walker, 2014; Peever & Fuller, 2017). Bien que le sommeil paradoxal ait suscité beaucoup d'intérêt chez les chercheurs, le manque de sommeil en général représente un pan important de la recherche en sommeil. D'ailleurs, les prochains paragraphes résument l'impact général d'une privation de sommeil sur le fonctionnement des individus.

1.1.1. L'impact d'une privation de sommeil sur le fonctionnement général

Une perte de sommeil, qu'elle soit totale ou partielle, temporaire ou chronique, entraîne une grande variété de conséquences touchant plusieurs sphères de l'individu (p. ex. comportemental, psychologique, cognitif, biologique) (Krause et al., 2017; Orzeł-Gryglewska, 2010). Brièvement, le manque de sommeil est communément associé à la présence de somnolence diurne (c.-à-d. propension au sommeil), de microsommeils (c.-à-d. endormissement de quelques secondes) et de caractéristiques faciales typiques (p. ex. yeux rouges, cernes) (Orzeł-Gryglewska, 2010; Philip et al., 2012; Sundelin et al., 2013).

Sur le plan psychologique, le manque de sommeil entrainerait une difficulté à réguler adéquatement les émotions, ce qui serait associé à une augmentation de l'agressivité, de la

frustration, de symptômes anxieux et de symptômes dépressifs (Orzeł-Gryglewska, 2010; Palmer & Alfano, 2017; Talbot et al., 2010). Plus spécifiquement, une augmentation générale de la fréquence des émotions négatives et une diminution de la fréquence des émotions positives sont notées suivant une privation de sommeil (Palmer & Alfano, 2017).

Au niveau cognitif et neurobiologique, les études soulignent que le manque de sommeil entrainerait une altération des fonctions exécutives, de l'attention, du fonctionnement mnésique, de la mémoire de travail et de la vitesse de traitement de l'information (Krause et al., 2017; Waters & Bucks, 2011). Ces altérations du fonctionnement cognitif seraient associées à des dysfonctionnements neurophysiologiques causés par le manque de sommeil (Krause et al., 2017). Notamment, les études en neuroimagerie soulèvent que les lobes préfrontaux et pariétaux bilatéraux sont généralement moins activés à la suite d'une privation totale de sommeil (Goel et al., 2009; Krause et al., 2017; Orzeł-Gryglewska, 2010). À cet effet, certains auteurs proposent que les lobes frontaux, siège des fonctions exécutives, seraient particulièrement sensibles à la perte de sommeil (Goel et al., 2009; Krause et al., 2017; Orzeł-Gryglewska, 2010). De façon concordante, la privation de sommeil engendre presque invariablement des altérations importantes au niveau des comportements motivés tels que la recherche de sensations, le contrôle de l'impulsivité et ultimement la prise de décision (Killgore et al., 2007; Krause et al., 2017).

Par ailleurs, les lobes frontaux reçoivent des projections du système limbique (gestion des émotions) ainsi que du système dopaminergique de la récompense (évaluation des risques et gains) dont le système limbique fait partie (voie mésolimbique) (Hiser & Koenigs, 2018; Schultz, 2000). Ainsi, par son impact sur le fonctionnement des lobes frontaux, la privation de sommeil affecte les processus émotionnels et l'évaluation du risque lors de la prise de décision

(Kerkhof & Van Dongen, 2010; Killgore et al., 2007). À cet effet, Killgore et al. (2006) ont soulevé que des individus ayant subi une privation totale de sommeil (49h) prenaient des décisions émotionnellement dirigées et significativement plus risquées, donc moins rationnelles, à une tâche de jeu d'argent comme l'*Iowa Gambling Task* (Bechara et al., 1994). Les auteurs ont montré que les résultats étaient comparables à ceux obtenus par des individus présentant une lésion du cortex préfrontal ventromédian (Killgore et al., 2006). D'ailleurs, cette région serait impliquée à la fois dans l'évaluation des récompenses et des pertes potentielles lors de la prise de décision (par des projections du système dopaminergique de la récompense), mais également dans la gestion des émotions (par ses interactions dans le système limbique) (Hiser & Koenigs, 2018).

Il est intéressant de noter que dans une étude impliquant une privation sélective de sommeil paradoxal, une augmentation de la réaction émotionnelle (plus grande tendance à vouloir se défendre, se protéger) face à des stimuli à forte valence (p. ex. photo de situation dangereuse ou menaçante) a été notée chez les participants par rapport à une session contrôle, ce qui suggère l'importance du sommeil paradoxal pour le contrôle émotionnel (Rosales-Lagarde et al., 2012). Il serait important tout de même de souligner que cette étude n'exclut pas la possibilité que d'autres stades du sommeil puissent contribuer au fonctionnement émotionnel normal. Néanmoins, par consensus, les études montrent généralement qu'une diminution du sommeil paradoxal a un impact sur la connexion fonctionnelle entre différentes structures cérébrales et le cortex préfrontal, ce qui affecterait la gestion des émotions, mais également l'analyse des récompenses et des punitions (Goldstein & Walker, 2014; Gujar et al., 2011; Van Der Helm et al., 2011). Ainsi, en fonction de leur impact sur le sommeil paradoxal, différents

protocoles de privation de sommeil (p. ex. se coucher plus tard ou se lever plus tôt qu'à l'habitude) pourraient conduire à des résultats différents sur la prise de décision.

Finalement, la prise alimentaire et plusieurs mécanismes qui y sont impliqués sont aussi affectés par la privation de sommeil (Magee et al., 2009). Par exemple, au plan métabolique, des études soulignent que le manque de sommeil est associé à un dérèglement de la métabolisation du glucose ainsi qu'à une altération dans la sécrétion de certaines hormones (p. ex. ghréline et leptine, hormones de l'appétit et de la satiété) (Depner et al., 2014; Orzeł-Gryglewska, 2010). Ces éléments métaboliques ainsi que l'impact du manque de sommeil sur la prise alimentaire seront abordés en détail dans la dernière portion de l'introduction, mais avant, la prochaine section présentera en général la prise alimentaire, les mécanismes et les facteurs qui y sont associés.

1.2. Les fondements du choix alimentaire et les facteurs interindividuels pouvant l'influencer

Le contrôle du poids dépend principalement de ce qu'on appelle la balance énergétique. (apport énergétique vs dépense énergétique) (Al Khatib et al., 2017; Hill et al., 2012). L'apport énergétique dépend de la quantité de nourriture ingérée en kilocalories (kcal), tandis que la dépense énergétique découle de l'énergie nécessaire pour maintenir le fonctionnement biologique de l'individu (métabolisme de base), mais également de l'activité physique effectuée (Hill et al., 2012). De manière homéostatique, cette théorie indique que lorsque l'apport est plus grand que la dépense, un gain de poids en résulte et, dans la situation inverse, une perte de poids est le résultat (Hill et al., 2012). Ainsi, la quantité et le choix des aliments ont un impact sur l'apport énergétique et peuvent influencer la santé d'un individu (p. ex. consommer plus de

sucreries ou d'aliments cancérigènes, vs consommer plus de protéines, fruits et légumes). Par ailleurs, le comportement de recherche alimentaire est biologiquement motivé par le sentiment de faim qui est entre autres régulé par deux hormones, la ghréline et la leptine (Magee et al., 2009). La ghréline contrôle l'appétit (un haut taux augmente l'appétit) et la leptine contrôle le sentiment de satiété (un haut taux est lié à un haut niveau de satiété) (Magee et al., 2009).

Toutefois, même en ayant faim, la décision de manger ou non un plat est un processus complexe qui peut être influencé par plusieurs facteurs.

1.2.1. Le « désir » et le « plaisir » de la nourriture

La consommation de nourriture comporte un aspect hédonique qui élicite les comportements de recherche alimentaire (Finlayson et al., 2007b). Cette recherche peut être divisée en deux concepts : le désir et le plaisir de la nourriture (Finlayson et al., 2007b).

Le plaisir de la nourriture est concrètement l'aspect hédonique qu'une personne ressent à l'instant même où elle consomme la nourriture (Finlayson et al., 2007b). Plus précisément, c'est le processus par lequel les différentes composantes de la nourriture ingérée génèrent un sentiment de bien-être ou d'aversion (Finlayson et al., 2007b). Le désir de la nourriture est quant à lui le processus générateur de la recherche d'aliments (Finlayson et al., 2007b). Il peut être physiologiquement élicité par un besoin calorique (p. ex. un besoin en lipides peut favoriser la recherche d'aliments gras), mais aussi cognitivement contrôlé (p. ex. éviter ou choisir certains aliments en fonction d'un régime qui entraîne des restrictions alimentaires) (Finlayson et al., 2007b).

La composante « plaisir » s'exprime essentiellement explicitement, par exemple, affirmer adorer le goût des pommes (Finlayson et al., 2007b). La composante « désir » peut quant à elle

être à la fois explicite et implicite. Par exemple, affirmer vouloir manger une salade (explicite) et avoir, au contraire, une réelle envie de manger de la pizza, mais qu'on réprime (implicite) (Finlayson et al., 2007b). Même s'ils peuvent sembler très similaires, ces concepts sont en fait dissociés. En effet, dans une vaste étude, des chercheurs ont mesuré explicitement le désir et le plaisir liés à des aliments gras et savoureux, peu gras et savoureux, gras et sucrés ainsi que peu gras et sucrés (Finlayson et al., 2008; Finlayson et al., 2007a). Dans un deuxième temps, les participants ont accompli une tâche à l'ordinateur mesurant le désir implicite en calculant le temps de réaction lors d'un choix forcé entre deux aliments aléatoires (Finlayson et al., 2008). Après un repas de pizza (gras et savoureux) *ad libitum*, c'est-à-dire à volonté, ils ont refait les mêmes questionnaires et la même tâche à l'ordinateur (Finlayson et al., 2008; Finlayson et al., 2007a). Les résultats ont montré que le plaisir explicite avait diminué, mais était resté positif (p. ex. ils aiment toujours la pizza), mais que le désir explicite pour les aliments gras et savoureux avait diminué drastiquement (p. ex. ne voulaient plus de pizza) ainsi que pour les autres catégories (p. ex. ils n'avaient plus envie de manger) (Finlayson et al., 2008; Finlayson et al., 2007a). À l'inverse, le désir implicite avait augmenté pour les catégories sucrées (p. ex. le temps de réaction était plus rapide après le repas lorsque les participants choisissaient ces catégories) (Finlayson et al., 2008). Ces résultats suggèrent que le désir et le plaisir de la nourriture sont en effet dissociés et influençables. Ils montrent également que le désir implicite pour la nourriture est situationnel, influençable et peut être contraire au désir explicite. Ces résultats sont corroborés par plusieurs autres études montrant la dissociation entre le désir et le plaisir de la nourriture (Lemmens et al., 2009; Polk et al., 2017; Temple et al., 2009).

Les concepts de « désir » et « plaisir » ne sont pas uniques à la prise alimentaire, mais sont applicables à tous les comportements motivés (p. ex. consommation de drogues, jeu

pathologique) (Robinson et al., 2015). Or, ces composantes seraient directement liées au système dopaminergique de la récompense alors que le « désir » serait la force motivationnelle à consommer, tandis que le « plaisir » serait la récompense (Nicola, 2016; Robinson et al., 2015). Ainsi, lorsque les gens qui consomment des aliments très palataux (p. ex. gras, salés, sucrés), il y aurait un plus grand risque de prendre du poids, car le « plaisir » (c.-à-d. la récompense) est élevée et il y aurait également un plus grand potentiel de développer une dépendance envers la nourriture chez des gens plus susceptibles, au même titre qu'une personne peut développer une dépendance aux jeux de hasard (Robinson et al., 2015).

Cette conceptualisation de la prise alimentaire permet de clarifier les différentes composantes que sont le « désir » et le « plaisir » de la nourriture. Cependant, comme on l'a vu précédemment, lorsqu'un individu choisit de consommer un type d'aliments (p. ex. gras, salés, sucrés), plusieurs processus mentaux sont impliqués. En ce sens, un modèle conceptuel du choix alimentaire est présenté dans la prochaine section.

1.2.2. Modèle conceptuel du choix alimentaire

Au fil des années, des chercheurs se sont intéressés aux déterminants qui mènent à choisir un aliment au lieu d'un autre (Sobal & Bisogni, 2009; Sobal et al., 2006). Sobal et Bisogni (2009) ont développé un modèle conceptuel du choix alimentaire souvent cité dans les écrits scientifiques pour expliquer les mécanismes impliqués dans les décisions de consommer ou non un aliment. Selon ce modèle, lorsqu'on choisit un aliment parmi plusieurs options, nous attribuons une certaine valeur à chacune des options et l'aliment avec la plus grande valeur est celui qui est sélectionné (Sobal & Bisogni, 2009). Cette valeur est déterminée par plusieurs facteurs, dont principalement le coût (p. ex. considérations en fonction du budget, quantité), la

commodité (p. ex. demande peu de préparation, rapide), le goût, la santé et les considérations sociales (p. ex. on l'achète pour soi ou pour quelqu'un d'autre) (Sobal & Bisogni, 2009).

Néanmoins, ces facteurs sont également façonnés par nos expériences personnelles accumulées au fil de notre vie, par le contexte social, nos objectifs personnels, nos ressources, etc. (Sobal & Bisogni, 2009). À ce titre, une personne qui a grandi dans une famille où la consommation de légumes et une alimentation saine auraient été encouragées serait plus susceptible à continuer de consommer plus de fruits et de légumes frais à l'âge adulte (Cunningham-Sabo & Lohse, 2013; de Ridder et al., 2017; Larson & Story, 2009). Au contraire, les personnes qui mangent des plats congelés ou vont régulièrement au restaurant depuis leur enfance seraient plus enclines à continuer à adopter ces habitudes à l'âge adulte (de Ridder et al., 2017; Larson & Story, 2009).

En somme, les construits cognitifs qui mènent à un choix alimentaire incluent de manière individualisée les attitudes et croyances qu'on a envers la nourriture. En outre, le choix d'un aliment dépend de sa « qualité » selon nos critères personnels (p. ex. il a bon goût, il est bon pour ma santé, il est agréable à manger) (Sobal & Bisogni, 2009). De plus, même lorsque les gens savent que certains aliments sont mauvais pour la santé, lorsqu'ils choisissent de les consommer, c'est parce que les « bons côtés » l'emportent sur les « mauvais » suite à leur évaluation (Pérez-Villarreal et al., 2019; Sobal et al., 2006). Ainsi, le modèle résume que le choix alimentaire est surtout multifactoriel.

1.2.3. Autres facteurs influençant la prise alimentaire

En plus des facteurs considérés dans le modèle de Sobal and Bisogni (2009), d'autres éléments peuvent influencer la prise alimentaire. Les prochains paragraphes font état des

attitudes implicites envers la nourriture ainsi que des facteurs biologiques comme le chronotype et la génétique qui peuvent également contribuer à moduler la prise alimentaire.

1.2.3.1. Les attitudes implicites.

Les attitudes envers la nourriture peuvent se caractériser de plusieurs façons. Tout d'abord, les attitudes explicites font référence aux jugements conscients et autorapportés (Greenwald & Krieger, 2006; Rydell & McConnell, 2006). Les attitudes implicites sont quant à elles fondamentalement ancrées chez la personne et font référence aux jugements automatiques qui influencent nos comportements de façon involontaire (Greenwald & Krieger, 2006; Rydell & McConnell, 2006). Les attitudes explicites rapportées verbalement ne sont pas toujours compatibles avec les attitudes implicites (Greenwald & Krieger, 2006; Rydell & McConnell, 2006). Par exemple, en ce qui a trait aux biais ethniques, peu de personnes manifestent verbalement un préjugé négatif envers un groupe ethnique particulier, alors que la majorité des gens présentent un biais ethnique (Greenwald & Krieger, 2006). Par ailleurs, les attitudes implicites sont parfois de meilleurs prédicteurs du comportement des personnes que les questionnaires que l'on utilise pour mesurer les attitudes explicites (Bongers et al., 2013; Richetin et al., 2007).

Afin de mesurer les attitudes implicites, les chercheurs en psychologie sociale ont développé un paradigme appelé le test d'association implicite (TAI). Le TAI (Greenwald et al., 1998) est une tâche à l'ordinateur qui mesure la relation implicite entre des concepts cibles (p. ex. gâteaux et fruits) et des attributs (p. ex. mots positifs et mots négatifs) à l'aide de temps de réaction. Cette tâche repose sur la théorie cognitive selon laquelle nous sommes plus rapides à associer des concepts étroitement liés que des concepts faiblement connectés (Greenwald &

Krieger, 2006). Actuellement, il ne semble pas y avoir de modèle standard de TAI spécifique à la prise alimentaire. Au contraire, plusieurs études ont utilisé ce paradigme pour évaluer une variété de concepts cibles liés à la prise alimentaire : nourriture grasse vs nourriture non-grasse, nourriture à faible teneur calorique vs nourriture à haute teneur calorique, nourriture très palatale vs nourriture peu palatale, chocolat vs fruit, collation plaisante vs collation non plaisante (Alkozei et al., 2018; Ashby & Stritzke, 2013; Ayres et al., 2012; Bongers et al., 2013; Lebens et al., 2011; Mattavelli et al., 2019; Roefs & Jansen, 2002; Songa & Russo, 2018). De manière générale, les TAI sont capables de prédire certains comportements alimentaires dans des circonstances précises. Par exemple, un TAI évaluant le lien entre la nourriture et des émotions positives permet de prédire le comportement alimentaire lorsqu'une émotion positive est suscitée (Ayres et al., 2012). Toutefois, dans certains cas, les TAI n'arrivent pas à prédire les comportements alimentaires. Par exemple, une étude comparant les attitudes implicites et explicites envers la nourriture grasse chez des participants contrôles et des personnes souffrant d'obésité a montré que les deux groupes avaient une attitude négative similaire envers la nourriture grasse même si les comportements alimentaires des personnes souffrant d'obésité laissent suggérer le contraire (Roefs & Jansen, 2002). Les auteurs expliquent ces résultats par le caractère spécifique du TAI qui mesure le concept général « gras » de la nourriture et non les exemples individuels de ce concept (p. ex. on peut adorer la crème glacée, mais penser que les aliments gras sont généralement mauvais) (Roefs & Jansen, 2002). D'ailleurs, ils reconnaissent que la construction spécifique de leur TAI limite potentiellement l'applicabilité de leurs résultats et que d'autres TAI pourraient mener à des résultats différents. En outre, il n'existe pas d'études, à notre connaissance, qui ont utilisées des TAI évaluant des concepts plus larges comme les attitudes envers la nourriture considérée « santé » versus « peu santé ». Or, la perception qu'un

aliment est bon pour la santé ou non influence grandement les choix et la prise alimentaires, les gens ayant tendance à choisir et à manger en plus grande quantité des aliments qui sont perçus meilleurs pour la santé (Provencher & Jacob, 2016).

1.2.3.2. Le chronotype et les comportements alimentaires.

Plusieurs études soutiennent que le chronotype serait associé à la prise alimentaire (Baron et al., 2011; Golley et al., 2013; Lowden et al., 2010). Le chronotype réfère à la préférence de chaque individu pour l'heure générale du coucher, du lever et l'heure préférentielle de différentes activités (p. ex. repas, activité physique, etc.) (Horne & Östberg, 1976). Horne et Östberg (1976) ont développé et publié les données de validation d'un questionnaire permettant de classifier le chronotype de chaque individu: le «*Morningness-Eveningness questionnaire*». Ce questionnaire permet de classer les individus en cinq chronotypes: type du soir extrême (se couche plus tard et se lève plus tard), type du soir modéré, le type intermédiaire, le type du matin modéré et type du matin extrême (se couche plus tôt et lève plus tôt) (Horne & Östberg, 1976).

Les études montrent qu'un chronotype du soir serait lié à un risque accru de développer de l'obésité tant chez l'enfant que chez l'adulte (Miller et al., 2015). D'ailleurs, des auteurs ont évalué l'apport énergétique (kcal) chez 52 adultes présentant différents chronotypes et ceux qui présentaient un type du soir consommaient plus de calories au souper et après 20h, consommaient plus d'aliments sucrés, gras ou salés et de boissons gazeuses, mangeaient moins de fruits et de légumes et avaient un plus grand indice de masse corporelle (IMC) que les individus avec le type intermédiaire (Baron et al., 2011). Toutefois, il serait important de noter que l'apport énergétique était mesuré uniquement à partir d'informations autorapportées. Néanmoins, d'autres études suggèrent aussi que le type du soir serait associé à une tendance à

choisir de la nourriture plus riche en lipides et en glucides en soirée et ceci serait lié à un sommeil subséquent de moins bonne qualité (Crispim et al., 2011; Markwald et al., 2013; McHill et al., 2017). De plus, des études ont montré que les types du soir auraient souvent tendance à sauter le déjeuner et à dormir moins longtemps durant la semaine en raison des contraintes sociales (Dashti et al., 2019; Roepke & Duffy, 2010). Ainsi, il pourrait y avoir une interaction entre le chronotype, la durée du sommeil, avec l'heure de la prise alimentaire sur l'apport énergétique (le nombre de calories et le type d'aliment choisi).

1.2.3.3. La génétique.

Des études récentes montrent que, non seulement, l'horloge biologique serait génétiquement contrôlée, mais qu'un gène exprimé dans les cellules de l'horloge biologique, le CLOCK 3111T/C, pourrait avoir un lien avec les habitudes alimentaires (Fonken et al., 2010; Garaulet, Sánchez-Moreno, et al., 2011). L'horloge biologique est un mécanisme qui permet de synchroniser les différents rythmes physiologiques entre eux ainsi que de les synchroniser avec celui de l'environnement (Laposky et al., 2008). Une étude impliquant 1495 personnes souffrant d'obésité et fréquentant une clinique d'obésité a montré que les individus possédant un gène avec une paire d'allèles TC au lieu de TT ont en moyenne une moins grande durée de sommeil, davantage de ghréline (hormone liée à l'appétit) en circulation dans le sang, déjeunent plus tard, sont du type de soir et adhèrent moins bien au régime méditerranéen proposé par la clinique (Garaulet, Sánchez-Moreno, et al., 2011). D'ailleurs, d'autres travaux montrent de nombreux liens entre la génétique d'un individu et le chronotype/moment des repas (Jones et al., 2019; Lopez-Minguez et al., 2019), la tendance à sauter des repas (Dashti et al., 2019), les habitudes alimentaires et l'IMC (Dashti et al., 2020). Ces données suggèrent donc que les habitudes

alimentaires pourraient être en partie génétiquement influencées. Le fait que le gène soit associé à une durée moins grande du sommeil est intéressant puisque les études soutiennent qu'une durée de sommeil plus courte est associée à une plus grande prise alimentaire, au surpoids ainsi qu'à un risque de souffrir d'obésité. D'ailleurs, les prochains paragraphes aborderont l'impact d'un manque de sommeil sur la prise alimentaire.

1.3. L'effet d'une privation de sommeil sur la prise alimentaire

Les recherches qui ont étudié l'effet d'une privation de sommeil sur les mécanismes de la prise alimentaire ont porté principalement sur l'impact d'un manque de sommeil ou d'un sommeil de courte durée sur les hormones liées à l'appétit, sur la prise et sur les choix alimentaires comme tels.

1.3.1. L'impact du manque de sommeil sur les hormones de l'appétit

Plusieurs études soutiennent que le manque de sommeil contribue à la prise alimentaire en déséquilibrant les hormones liées au mécanisme de l'appétit, soit la ghréline et la leptine (Cooper et al., 2018). La leptine est principalement sécrétée par le tissu adipeux et a généralement pour effet de diminuer l'appétit, tandis que la ghréline, une hormone relâchée par l'estomac, stimule l'appétit (Knutson & Van Cauter, 2008). De manière convergente, la très grande majorité des chercheurs ayant évalué le lien entre le manque de sommeil et la consommation alimentaire notent une augmentation de la ghréline et une diminution de la leptine autant chez les animaux que chez les humains, suite à une perte de sommeil (Broussard et al., 2016; Cooper et al., 2018; Knutson & Van Cauter, 2008; Magee et al., 2009). Plus précisément, la sécrétion de leptine, qui atteint généralement son apogée pendant la nuit, présente une moins

grande amplitude en situation de manque de sommeil (Knutson & Van Cauter, 2008). Par exemple, une étude d'envergure et couramment citée a étudié le lien entre le sommeil et les concentrations de leptine dans le sang auprès de 11 participants (Spiegel, Leproult, et al., 2004). Ces derniers ont pris part à un protocole de privation partielle de sommeil (six nuits avec quatre heures d'opportunité de sommeil) et un protocole d'extension du sommeil (six nuits avec douze heures d'opportunité de sommeil) (Spiegel, Leproult, et al., 2004). Comparativement, à l'extension de sommeil, les chercheurs notent une diminution marquée de l'amplitude moyenne des niveaux de leptine (-26% à l'acrophase la nuit et -20% pendant le jour) dans le protocole de restriction de sommeil (Spiegel, Leproult, et al., 2004). Il serait toutefois important de noter que cette étude n'impliquait pas de mesure de la faim ou des niveaux de ghréline. À cet effet, la même équipe de recherche a réalisé une autre étude qui incluait cette fois-ci les taux de leptine et de ghréline, ainsi que des mesures subjectives de la faim et de l'appétit (Spiegel, Tasali, et al., 2004). Cette étude avait comme objectif de comparer une condition de restriction de sommeil (deux nuits avec quatre heures d'opportunité de sommeil) à une condition d'extension du sommeil (deux nuits avec dix heures d'opportunité de sommeil). Les auteurs ont montré qu'en situation de manque de sommeil, il y avait une diminution de la leptine (-18%), une augmentation de la ghréline (+28%), de l'appétit (+23%) et de la faim (+24%), comparativement à la condition d'extension de sommeil (Spiegel, Tasali, et al., 2004). Cependant, cette étude incluait seulement des hommes et la dépense énergétique n'a pas été mesurée. Outre ces deux études, la grande majorité des recherches soulignent que le débalancement hormonal en situation de manque de sommeil favorise une augmentation de l'appétit et une diminution du sentiment subjectif de satiété, ce qui encourage une augmentation de la prise alimentaire et exposerait

l'individu, à long terme, à un risque de surpoids et d'obésité (Cooper et al., 2018; Knutson & Van Cauter, 2008; Magee et al., 2009).

1.3.2. Sommeil de courte durée et prise alimentaire

La majorité des études soutiennent que ceux qui dorment généralement moins ont tendance à consommer plus d'aliments gras et sucrés et que ces personnes sont plus à risques de développer du surpoids et de l'obésité (Chaput & Dutil, 2016; Chaput et al., 2007; Garaulet, Ortega, et al., 2011; Markwald et al., 2013; Patel & Hu, 2008; Patel et al., 2006; Shi et al., 2008; Taheri, 2006; Weiss et al., 2010). Cependant, à l'heure actuelle, il est important de noter que ces études ne font pas la distinction entre les petits dormeurs, c'est-à-dire les personnes qui ont un besoin réel de sommeil moins grand que la norme, et les individus qui dorment peu, mais qui sont chroniquement en manque de sommeil. Ces derniers dorment donc beaucoup moins que leur besoin réel de sommeil (Ferrara & De Gennaro, 2001).

Ce lien entre un sommeil d'une courte durée et la prise alimentaire est présent autant chez les adultes que chez les plus jeunes. Par exemple, une étude européenne a évalué le lien entre la durée du sommeil et le risque d'obésité chez 3311 adolescents (Garaulet, Ortega, et al., 2011). Les résultats montrent que ceux qui dorment moins de 8h ont un plus grand IMC, un plus grand pourcentage de tissus adipeux et mangent moins de fruits, de légumes et de poissons que ceux qui dorment 8h et plus (Garaulet, Ortega, et al., 2011). Les auteurs constatent également que ces différences sont plus prononcées chez les filles (Garaulet, Ortega, et al., 2011). Par ailleurs, une étude québécoise a notamment étudié le lien entre la durée du sommeil et la quantité de tissus adipeux corporels de 740 adultes. Les résultats montrent que le groupe d'adultes qui dorment 5-6h par nuit ont un IMC plus élevé, une plus grande quantité et pourcentage de tissus adipeux, une

plus grande circonférence à la taille que les groupes qui dorment 7-8h et 9-10h, et ils ont 1.38 fois plus de risque de vivre du surpoids ou de l'obésité que ceux qui dorment 7-8h (Chaput et al., 2007). Toutefois, il serait important de noter que ce sont des études transversales, ce qui empêche de tirer des conclusions de causalité en raison d'un manque de temporalité dans la collecte des données (un élément survenant définitivement avant l'autre).

Ces études illustrent tout de même bien le lien entre une courte durée de sommeil et une plus grande masse adipeuse, mais ne détaillent pas particulièrement les différences au sujet des habitudes alimentaires. En fait, une autre étude transversale s'intéressant au lien entre la durée du sommeil et les habitudes alimentaires chez 240 adolescents rapporte que ceux qui dorment moins de 8h mangent un plus grand pourcentage de gras (lipides) que ceux qui dorment 8h et plus (Weiss et al., 2010). Les auteurs rapportent également que ceux qui dorment moins de 8h ont 2.1 fois plus de chances de consommer 475kcal de plus par jour que ceux qui dorment 8h et plus (Weiss et al., 2010). Finalement, une étude causale évaluant le lien entre une restriction de sommeil (5h par nuit pendant 5 jours) et le poids rapporte un gain pondéral total de 0.82kg et une plus grande consommation de lipides et de glucides le soir, comparé au poids et à la consommation lorsque le sommeil est habituel (environ 9h par nuit sur 5 jours) (Markwald et al., 2013). Ceci renforce l'hypothèse que la restriction chronique de sommeil entraîne des conséquences sur l'alimentation et le poids.

1.3.3. Effet d'une restriction de sommeil sur la prise alimentaire

Les études vérifiant l'impact d'une seule nuit de restriction de sommeil sur la prise alimentaire notent généralement une augmentation de la consommation avec une modification des choix alimentaires (Al Khatib et al., 2017; Markwald et al., 2013; Spaeth et al., 2013). Par

contre, les résultats actuels font état d'une grande variabilité dans les comportements alimentaires mesurés (Klingenberg et al., 2012; McNeil & St-Onge, 2017; Nedeltcheva et al., 2009).

Tout d'abord, la grande majorité des études évaluant la quantité de nourriture consommée après un protocole de restriction de sommeil note une augmentation significative de la quantité de calories (kcal) ingérée (Brondel et al., 2010; Markwald et al., 2013; Spaeth et al., 2013; St-Onge et al., 2011). Par exemple, une étude de Brondel et al., (2010) s'intéressant à l'impact d'une diminution de 50% d'opportunité de sommeil (8h pour une nuit contrôle et 4h pour la restriction de sommeil) sur la balance énergétique, note une augmentation significative de l'apport énergétique et de l'activité physique après le manque de sommeil auprès d'un échantillon de 12 hommes. En moyenne, une augmentation de 300 à 500 kcal par période de 24 heures est observée à la suite d'une restriction du sommeil par rapport à une condition contrôle (Al Khatib et al., 2017; Markwald et al., 2013; Spaeth et al., 2013). En outre, cette augmentation est davantage notée au niveau des lipides et des glucides (Brondel et al., 2010; Markwald et al., 2013; Spaeth et al., 2013; St-Onge et al., 2011). Ceci témoigne de choix alimentaires hautement caloriques favorisant davantage les aliments gras et sucrés que les aliments riches en protéines (viandes et substitues). Par exemple, une étude s'intéressant à l'effet d'une privation totale de sommeil (une nuit) sur les choix alimentaires de 14 hommes adultes appuie ce constat (Chapman et al., 2013). À la suite d'une privation de sommeil ou d'une nuit contrôle (sommeil habituel), les individus devaient acheter autant d'items qu'ils voulaient avec 50\$ parmi 40 items possibles (20 avec une faible densité calorique et 20 avec une haute densité calorique) (Chapman et al., 2013). Les individus privés de sommeil ont acheté 18% plus de calories que ceux qui n'étaient pas privés de sommeil et ils ont choisi 9% plus d'items à haute densité calorique (Chapman et al.,

2013). St-Onge et al., (2011) soulève également une augmentation significative de l'apport énergétique après une nuit de privation partielle de sommeil (4h d'opportunité) comparativement à une nuit contrôle (9h d'opportunité) auprès de 30 adultes qui participait à une étude à devis de type expérimentale avec un modèle à multiples conditions contrebalancées (2 séquences de 5 nuits, la prise alimentaire était effectuée à la 5^e nuit pour la privation de sommeil et la nuit contrôle; St-Onge et al., 2011). L'augmentation de l'apport énergétique était davantage marquée par la consommation de lipides (St-Onge et al., 2011). Les résultats concordent avec l'idée que la privation de sommeil incite un choix alimentaire plus risqué pouvant augmenter la quantité de kcal consommée.

Par ailleurs, certaines études soulignent que l'augmentation de l'apport calorique se produirait surtout vers la fin de la journée suivant une restriction de sommeil. À cet effet, Markwald et al. (2013) ont effectués cinq nuits consécutives de restriction de sommeil (5h d'opportunité par nuit) et cinq nuits contrôles (9h d'opportunité par nuit) avec 16 participants adultes (Markwald et al., 2013). Les résultats montrent que la privation de sommeil était associée à une augmentation significative de l'apport énergétique principalement en soirée accompagnée par un gain de poids à la fin des cinq jours (Markwald et al., 2013). Une autre étude impliquant 225 adultes en santé (l'apport énergétique a été mesuré pour 37 d'entre eux) étant assignés soit à une séquence de cinq nuits consécutives de privation partielle de sommeil (4h d'opportunité par nuit) ou à une séquence contrôle (10h d'opportunité par nuit), s'est intéressée à l'impact d'un manque de sommeil sur la prise alimentaire, le gain de poids et le moment du repas (Spaeth et al., 2013). Les résultats montrent encore ici que les participants privés de sommeil ont significativement augmenté leur apport calorique, principalement des lipides, mais surtout que cette augmentation était plus importante pour les repas pris en soirée (Spaeth et al., 2013).

Toutefois, il serait important de noter qu'une augmentation était à prévoir puisqu'une opportunité de repas supplémentaire était offerte lors de la privation de sommeil. Ainsi, un tel effet n'aurait peut-être pas été soulevé sans cette différence de protocole.

Il faut alors soulever le fait que plusieurs études n'ont pas toujours observé des différences significatives au niveau de la quantité d'énergie consommée après une privation ou une restriction de sommeil (Klingenberg et al., 2012; Nedeltcheva et al., 2009; Schmid et al., 2009). Par exemple, une étude souligne que malgré l'absence de changement dans la quantité de calories ingérée pendant un long protocole de restriction de sommeil, des modifications au niveau des collations consommées ont été observées (Nedeltcheva et al., 2009). Dans cette étude particulière, 11 adultes ont séjourné 14 jours en laboratoire à deux reprises de manière contrebalancée en fonction de deux protocoles : 14 jours de restriction de sommeil (5.5h) et 14 jours de sommeil normal (8.5h) (Nedeltcheva et al., 2009). Les résultats montrent une augmentation significative des glucides (4% de plus en restriction de sommeil), surtout au niveau des collations, sans augmentation totale des kcal (Nedeltcheva et al., 2009). Les auteurs soulignent en outre que la différence moyenne par jour en kcal après la restriction de sommeil était accompagnée d'un écart-type particulièrement grand (297kcal pour 24h avec un écart-type de 440kcal) (Nedeltcheva et al., 2009). Ce résultat particulier suggère la présence d'une grande variabilité interindividuelle pouvant passer d'un déficit jusqu'à un grand gain en kcal chez les participants. Une autre étude réalisée chez les adolescents et s'intéressant au lien entre la restriction de sommeil et la balance énergétique (les kcal consommées versus l'énergie dépensée) abonde dans le même sens (Klingenberg et al., 2012). Dans cette étude, 21 adolescents ont participé à deux protocoles contrebalancés : trois nuits de restriction de sommeil (4h) et trois nuits de sommeil normal (9h) (Klingenberg et al., 2012). Les auteurs n'ont rapporté aucune

augmentation significative des calories consommées à la suite d'une restriction de sommeil, mais ont observé une grande variabilité dans les résultats (Klingenberg et al., 2012). En fait, sur les 21 individus, sept ont consommé plus, tandis que le reste a consommé autant ou moins suivant la restriction de sommeil (Klingenberg et al., 2012). Un étude récente de McNeil and St-Onge (2017) présente les résultats de participants de deux études sur la restriction de sommeil et la balance énergétique. Les auteurs rapportent d'importantes variations interindividuelles allant de -813 à +1437 kcal / jour. L'ensemble de ces études supporte l'idée qu'il existe des différences importantes entre les individus quant à leur susceptibilité à l'impact à court terme d'un manque de sommeil sur la prise alimentaire.

Bien que toutes ces études présentent des conclusions intéressantes, la plupart ont des limitations similaires. Notamment, on retrouve souvent un faible échantillon en raison de la complexité des protocoles, ce qui limite systématiquement la généralisation des résultats. Également, les faibles échantillons et les différents protocoles entraînent une variabilité dans les résultats obtenus (augmentation ou non de l'apport énergétique). De plus, la grande majorité des études offre une « opportunité de sommeil » fixe qui ne s'adapte pas au besoin naturel de sommeil de chaque participant. Ainsi, un plus grand dormeur peut avoir un effet de la privation de sommeil plus important qu'un plus petit dormeur. Finalement, ces protocoles s'intéressent rarement au moment de la restriction de sommeil, soit aller se coucher plus tard ou se lever plus tôt qu'à l'habitude. Ainsi, il reste encore beaucoup de questions méthodologiques et théoriques à répondre dans ce pan précis de la recherche. D'ailleurs, à notre connaissance, il n'existe actuellement aucune étude ayant investigué de façon spécifique les caractéristiques psychologiques qui pourraient faire en sorte que certaines personnes consomment davantage de nourriture que d'autres à la suite d'une nuit de restriction de sommeil. Néanmoins, certaines

pistes d'explications peuvent être explorées. Notamment, nous avons vu brièvement que la diminution du contrôle exécutif des lobes frontaux pourrait possiblement laisser libre cours à des processus plus automatiques et nous croyons que ces derniers pourraient influencer la prise alimentaire en situation de manque de sommeil. Également, nous avons vu brièvement que le manque de sommeil affecte les processus de prise de décision et nous croyons également que ces derniers pourraient influencer le choix alimentaire. Ces avenues sont explorées dans les sections qui suivent.

1.3.3.1. Les processus mentaux de base.

Nous avons vu que la privation de sommeil engendre des altérations importantes des comportements généralement associées aux fonctions exécutives (p. ex. le contrôle de l'impulsivité, la prise de décision) et amènerait davantage de comportements et de décisions plus impulsives et risquées (Killgore et al., 2007; Krause et al., 2017). Ce manque de contrôle exécutif serait attribuable à la sensibilité particulière des lobes frontaux au manque de sommeil (Goel et al., 2009; Krause et al., 2017; Orzeł-Gryglewska, 2010). Ceci concorde avec la théorie du double processus qui stipule que des processus mentaux automatiques (p. ex. une impulsion comme une émotion ou la faim) sont sous la gouverne de processus mentaux contrôlés, permettant ainsi la mise en place de comportements adaptés socialement (p. ex. comportement alimentaire contrôlé et relativement sain) (De Neys, 2017; Evans, 2008; Schneider & Chein, 2003). Selon ce modèle théorique, chez certaines personnes, le manque de sommeil pourrait les amener à adopter certains comportements et décisions davantage influencées par des processus automatiques suite à l'altération des processus contrôlés régis par les lobes frontaux (Eschenbeck et al., 2016; Schneider & Chein, 2003).

La théorie du double processus est une conceptualisation des processus mentaux qui est étudiée et discutée depuis plusieurs décennies (De Neys, 2017; Evans, 2008). Expliquée simplement, cette théorie divise les processus mentaux en deux catégories : les processus automatiques (inconscients et rapides) et les processus contrôlés (conscients, lents et délibérés) (De Neys, 2017; Evans, 2008; Schneider & Shiffrin, 1977; Shiffrin & Schneider, 1977). Les processus automatiques peuvent être définis comme des schémas cognitifs (p. ex. connaissances, croyances) et réponses comportementales qui sont presque toujours activés à l'arrivée d'un stimulus et qui se produisent sans effort, sans contrôle ni attention (De Neys, 2017; Evans, 2008). Par exemple, la réponse attentionnelle automatique dirige rapidement l'attention vers un stimulus saillant (De Neys, 2017; Evans, 2008). D'un autre côté, les processus contrôlés sont définis comme des schémas cognitifs et des comportements activés par l'effort cognitif et qui impliquent l'attention et le contrôle actif de l'individu (De Neys, 2017; Evans, 2008). Ils ont une portée limitée puisqu'ils mobilisent de plus grandes capacités cognitives que les processus automatiques (De Neys, 2017). Par exemple, lorsqu'un individu est amené à faire face à une situation nouvelle, il doit s'adapter en développant de nouveaux schémas, ce qui demande un contrôle accru (De Neys, 2017). En outre, des réponses cognitives et comportementales qui se répètent plusieurs fois (p. ex. dans le cadre d'un conditionnement) peuvent devenir automatiques (De Neys, 2017).

Certaines distinctions entre les deux processus sont importantes à noter. Notamment, les processus automatiques sont rapides et peuvent fonctionner de manière parallèle (c.-à-d. que plusieurs actions se font en même temps de manière involontaire), tandis que les processus contrôlés sont lents et sériels, alors que l'individu doit volontairement se concentrer à faire une action avant de passer à la prochaine (De Neys, 2017; Schneider & Chein, 2003). Par ailleurs,

dans les situations cognitivement intenses, les processus automatiques continuent à fonctionner normalement, tandis que les processus contrôlés sont plus fragiles et peuvent être altérés par l'alcool, la fatigue, le stress, etc. (De Neys, 2017; Schneider & Chein, 2003). Ainsi, les processus automatiques sont très robustes aux changements de conditions et de situations. Également, plus un processus automatique est ancré dans l'individu et détaché des processus contrôlés, plus il est résistant et difficile à influencer (De Neys, 2017; Schneider & Chein, 2003). Par ailleurs, puisque les processus contrôlés sont plus fragiles, les processus automatiques vont souvent moduler le comportement des individus dans des situations particulières, par exemple face à une distraction, la prise d'alcool et, ce qui nous intéresse ici, le manque de sommeil (Eschenbeck et al., 2016; Schneider & Chein, 2003).

L'imagerie cérébrale a permis de préciser les régions étant les plus sollicitées par ces deux différents types de processus mentaux (Lieberman, 2007). Ainsi, les processus contrôlés sont surtout associés à l'activation des cortex préfrontaux latéral et médian, les cortex pariétaux latéral et médian et le lobe temporal médian (Lieberman, 2007). Les processus automatiques sont quant à eux associés à l'activation du cortex préfrontal ventromédian, le cortex temporal latéral et l'amygdale (Lieberman, 2007). D'autre part, des études de neuroimagerie ont également montré que les attitudes implicites découlent de processus automatiques et impliquent des structures cérébrales qui sont activées immédiatement lors de la perception d'un stimulus (p. ex. l'amygdale), mais subissent également une régulation du cortex préfrontal pour exprimer un comportement adapté (Stanley et al., 2008). Ainsi, étant donné que les comportements contrôlés sont sensibles au manque de sommeil, des processus plus automatiques, comme les attitudes implicites, peuvent être plus susceptibles d'influencer les comportements (Eschenbeck et al., 2016; Schneider & Chein, 2003). Concrètement, après une restriction de sommeil, il est alors

probable que les attitudes implicites aient momentanément davantage d'influence sur les décisions alimentaires et pourrait amener certains individus à adopter des choix qui sont motivés par la consommation de nourriture palatale et calorique s'ils ont une attitude plus positive envers ce type d'aliments.

1.3.3.2. Le manque de sommeil, le système de récompense et la prise de risque.

Comme discuté précédemment, la prise de décision constitue un acte cognitivement complexe chez l'être humain, mais qui est également affectée par le manque de sommeil (Kerkhof & Van Dongen, 2010). Lorsque l'être humain est privé de sommeil, il est plus enclin à prendre des décisions risquées (Killgore et al., 2007). Cependant, la prise de risque implique une évaluation des gains et des pertes possibles (O'Doherty et al., 2017; Trepel et al., 2005). En situation de privation de sommeil, si la personne est exposée à un gain potentiel, elle a tendance à y être plus sensible et à prendre plus de risques que si elle fait face à une perte potentielle (McKenna et al., 2007; Venkatraman et al., 2007). Cette perception de gain et de perte, qui amène éventuellement à la prise de décision, dépend directement du système dopaminergique de la récompense (Venkatraman et al., 2007). Ce système est en fait un circuit neurologique impliqué dans l'apprentissage des comportements (Arias-Carrión et al., 2010; O'Doherty et al., 2017; Schultz et al., 1997).

Le système dopaminergique de la récompense est un mécanisme neurologique capable de promouvoir un comportement ou de favoriser sa suppression (Nakanishi et al., 2014; O'Doherty et al., 2017; Schultz et al., 1997). Le fonctionnement de ce système dépend tout d'abord des neurones dopaminergiques (O'Doherty et al., 2017; Schultz et al., 1997) (Nakanishi et al., 2014). Ces derniers mesurent l'ampleur de l'écart entre la prédiction de la conséquence d'un

comportement et la réalité, c'est-à-dire si la vraie conséquence s'est produite (O'Doherty et al., 2017; Schultz et al., 1997). Cette mesure d'écart stimule soit la voie directe (promouvoir et motiver le comportement) ou la voie indirecte (supprimer et décourager le comportement) (O'Doherty et al., 2017; Schultz et al., 1997) (Nakanishi et al., 2014).. Plus précisément, si un écart est favorable (p. ex. la conséquence est plus grande et positive que prédite), il s'agit d'une récompense, les neurones dopaminergiques de la substance noire déchargent une grande quantité de dopamine et activent la voie directe stimulant différentes aires cérébrales (projections mesostriatales, mésolimbiques et mésocorticales (préfrontale)) (O'Doherty et al., 2017; Schultz et al., 1997) (Nakanishi et al., 2014).. Si une erreur est défavorable (p. ex. la conséquence est pire que prédite), il s'agit d'une punition, les neurones dopaminergiques de la substance noire arrêtent de décharger la dopamine et activent la voie indirecte qui supprime le comportement (O'Doherty et al., 2017; Schultz et al., 1997) (Nakanishi et al., 2014).. C'est donc en quelque sorte le corrélat neurofonctionnel du conditionnement opérant.

Les écrits scientifiques soutiennent depuis plusieurs années que la prise alimentaire implique directement le système de récompense (Alonso-Alonso et al., 2015; de Macedo et al., 2016; Temple et al., 2009; Temple et al., 2008). En effet, la nourriture, ou même des stimuli visuels ou auditifs reliés à la nourriture, activent plusieurs régions cérébrales impliquées dans le système de récompense : le cortex orbitofrontal, l'insula, les noyaux accumbens, l'amygdale et la substance noire (Bragulat et al., 2010; Schur et al., 2009). L'aspect hédonique des aliments (le goût/palatabilité d'un aliment) fait de la nourriture une récompense de choix pour le système nerveux (Alonso-Alonso et al., 2015; de Macedo et al., 2016). Or, la littérature souligne qu'à la suite de l'ingestion d'un aliment avec une haute palatabilité (sucré et gras), de la dopamine est relâchée dans les différentes régions impliquées dans le système de la récompense, dont le cortex

frontal (Alonso-Alonso et al., 2015; de Macedo et al., 2016). Ceci a pour effet d'encourager le comportement et donc la consommation de nourriture très palatable (c.-à-d. sucrée et grasse), ce qui peut mener à une prise de poids si l'individu succombe fréquemment au désir de manger ce type d'aliment (Alonso-Alonso et al., 2015; de Macedo et al., 2016). D'ailleurs, un parallèle pourrait être fait avec la notion de « désir » et de « plaisir », alors que le « désir » serait la motivation à consommer des aliments palatable et le « plaisir » correspondrait à la décharge de dopamine après la consommation (Nicola, 2016; Robinson et al., 2015).

En situation de manque de sommeil, il y aurait une diminution du contrôle exécutif des structures frontales sur les processus automatiques liés aux émotions et à la sensibilité à la récompense (Goldstein & Walker, 2014; Gujar et al., 2011; Yoo et al., 2007). Des études de neuroimagerie fonctionnelle ont en effet démontré à la fois une activité accrue des structures limbiques lorsque des récompenses en nourriture étaient impliquées, mais elles ont également montré la présence d'une diminution de la connectivité fonctionnelle dans le contrôle qu'exerce le cortex préfrontal sur le système limbique, ce qui se traduit par des comportements davantage influencés par le système de récompense (Goldstein & Walker, 2014; Gujar et al., 2011; Yoo et al., 2007). Ainsi, les gens privés de sommeil auraient tendance à prendre des décisions plus risquées à la suite de l'évaluation d'un gain positif et plaisant (McKenna et al., 2007). Ceci pourrait avoir un impact important sur la prise alimentaire, surtout en présence d'aliments hautement palatables. En outre, certaines études suggèrent que le sommeil paradoxal jouerait un rôle clé dans la réinitialisation des fonctions cérébrales dans les régions du tronc cérébral, du système limbique et du cortex préfrontal, afin de permettre une réactivité émotionnelle optimale pour le lendemain (Goldstein & Walker, 2014). Ainsi, une privation de sommeil, plus

particulièrement une diminution du sommeil paradoxal pourrait mener à une augmentation de l'apport énergétique par une plus grande consommation d'aliments gras et sucrés.

La prise de décision et le système de récompense peuvent donc potentiellement expliquer pourquoi certaines personnes mangent davantage de nourriture palatable après une perte de sommeil. Toutefois, la variabilité dans l'apport énergétique notée précédemment suggère que certaines caractéristiques interindividuelles peuvent influencer cette prise de décision. D'ailleurs, certains traits de personnalités ont été associés à la fois aux habitudes alimentaires, à la prise de risque et à la sensibilité à la privation de sommeil (Mishra et al., 2010; Murphy et al., 2014; Rupp et al., 2010; Wang et al., 2017; Young et al., 2012). La prochaine section s'intéressera donc aux traits de personnalités susceptibles de moduler la prise alimentaire en situation de manque de sommeil.

1.3.3.3. Les traits de personnalité liés à la prise de risque.

En termes de personnalité, les écrits scientifiques présentent généralement cinq grands domaines (modèle du *Big Five* : névrosisme, extraversion, ouverture à l'expérience, agréabilité, caractère consciencieux) avec des traits spécifiques pouvant y être associés (p. ex. la recherche de sensation est associée à l'extraversion). Selon une récente revue de littérature de Sutin and Terracciano (2017), bien qu'il existe un lien entre la personnalité et la balance énergétique, celui-ci semble complexe. Notamment, l'ouverture à l'expérience est souvent associée à une alimentation plus santé, mais pas à l'IMC (Sutin & Terracciano, 2017). Le caractère consciencieux est souvent associé à un IMC plus faible, mais seulement parfois à une alimentation plus santé (Sutin & Terracciano, 2017). L'extraversion est parfois associée à une alimentation plus santé et surtout à une tendance à faire plus d'activité physique, une composante

importante de la dépense énergétique qui est un des pôles de la balance énergétique (Minkwitz et al., 2016; Sutin & Terracciano, 2017). Par contre, l'extraversion est aussi parfois associée à un IMC plus élevé et à un gain de poids (Sutin & Terracciano, 2017). L'impulsivité, une facette du névrosisme est, pour sa part, parfois liée à une tendance à manger plus, à un IMC plus grand et à un risque de développer des troubles alimentaires (Sutin & Terracciano, 2017). Ainsi, ces études montrent qu'il ne semble pas y avoir une tendance systématique en termes de personnalité, mais plutôt différents domaines ou traits de personnalité qui influencerait certains aspects de la balance énergétique.

Lorsqu'on s'intéresse aux traits de personnalité ayant démontré un lien à la fois avec les habitudes alimentaires et la prise de risque, certains se démarquent particulièrement. Par exemple, on note que la recherche de sensations, une facette de l'extraversion, et un tempérament impulsif, sont des traits de personnalité qui ont démontré un lien significatif avec la prise de risque (Mishra et al., 2010; Nicholson et al., 2005; Young et al., 2012; Zuckerman & Kuhlman, 2000), et ont été positivement associés à une forte sensibilité aux récompenses (Torrubia et al., 2001). En outre, la recherche de sensation et l'impulsivité sont des traits retrouvés dans certaines populations telles que les personnes souffrant de problèmes de jeu pathologique, d'obésité ou présentant une dépendance alimentaire (c.-à-d. une compulsion à consommer de grandes quantités de nourriture pour le plaisir que ça apporte) (Fink et al., 2010; Mishra et al., 2010; Murphy et al., 2014; Wang et al., 2017).

Une étude s'étant intéressée au lien entre une tendance à l'impulsivité (incluant la facette de recherche de sensations), la dépendance alimentaire et l'IMC auprès de 233 jeunes adultes montre que l'impulsivité est indirectement associée, par l'intermédiaire de la dépendance alimentaire, à un plus grand IMC (Murphy et al., 2014). D'ailleurs, ce qui est avancé pour

expliquer le lien entre l'impulsivité, la prise de poids et l'obésité est une difficulté exécutive à contrôler l'impulsion de manger (Murphy et al., 2014; Wang et al., 2017). De plus, une étude en imagerie cérébrale note chez les participants souffrant d'obésité, une plus faible proportion de matière grise dans les régions frontales comparativement à un groupe contrôle, et une plus forte tendance à rechercher des sensations étaient associée à une plus faible proportion de matière grise dans des structures du système limbique (Wang et al., 2017). En somme, ces études suggèrent qu'il existe un lien entre la personnalité, le fonctionnement cognitif et la prise alimentaire.

Finalement, d'une manière intéressante, certaines études suggèrent que l'extraversion, le domaine dont fait partie la recherche de sensation, est l'un des domaines de la personnalité qui confère une certaine vulnérabilité à la privation de sommeil (Rupp et al., 2010). Ainsi, les gens qui démontrent un haut niveau d'extraversion seraient davantage affectés par le manque de sommeil (Rupp et al., 2010). L'explication serait que les gens extravertis qui ont tendance à faire davantage d'activité physique et qui présentent une plus grande motivation à s'engager dans des activités stimulantes s'épuiseraient plus rapidement que les introvertis en situation de manque de sommeil (Minkwitz et al., 2016; Sutin & Terracciano, 2017).

Somme toute, l'ensemble de ces études permet de mettre en lumière que le manque de sommeil entraîne généralement une augmentation de l'apport énergétique, mais surtout qu'une grande variabilité interpersonnelle est observée. Ceci appuie l'hypothèse que des facteurs et/ou mécanismes psychologiques propres à chaque individu interagissent avec les effets du manque de sommeil sur la prise alimentaire. Les attitudes implicites, certains traits de personnalité et la sensibilité à la récompense semblent être des éléments à considérer.

1.4. Rationnel de l'essai

Le lien entre le manque de sommeil et la prise alimentaire est très complexe (Dashti et al., 2015). Les récentes études évaluant l'impact d'une restriction de sommeil sur la prise alimentaire rapportent en moyenne une augmentation de 300 à 500 kcal (Al Khatib et al., 2017; Markwald et al., 2013; Spaeth et al., 2013). Cependant, les résultats font état d'une grande variabilité interindividuelle, certaines personnes mangeant plus, d'autres moins et certaines ne modifiant pas leur apport énergétique (Klingenberg et al., 2012; McNeil & St-Onge, 2017; Nedeltcheva et al., 2009). Ceci suggère qu'il existe des différences entre les individus quant à l'impact d'un manque de sommeil sur la prise alimentaire. Toutefois, on retrouve très peu d'études ayant investigué les caractéristiques psychologiques qui pourraient expliquer ce constat.

Nous avons tout d'abord vu que la sensibilité des lobes frontaux au manque de sommeil (Durmer & Dinges, 2005; Goel et al., 2009; Krause et al., 2017; Muzur et al., 2002; Orzeł-Gryglewska, 2010) est associée à une perte du contrôle exécutif exercé par ces derniers, ce qui laisse davantage de place à des processus automatiques, tel que les attitudes implicites envers la nourriture (Eschenbeck et al., 2016; Schneider & Chein, 2003). En outre, les processus de prise de décisions, lesquels sont aussi impliqués dans les choix alimentaires, sont également affectés par le manque de sommeil (Goldstein & Walker, 2014; Gujar et al., 2011; Yoo et al., 2007), et plus précisément par la diminution du sommeil paradoxal (Goldstein & Walker, 2014), (Alonso-Alonso et al., 2015; Berridge, 1996; de Macedo et al., 2016; Temple et al., 2009; Temple et al., 2008). Enfin, nous avons vu que les décisions plus risquées, influencées par le système dopaminergique de la récompense, sont associées à des traits de personnalité telle que l'impulsivité, la recherche de sensations et la sensibilité à la récompense (Mishra et al., 2010; Nicholson et al., 2005; Young et al., 2012; Zuckerman & Kuhlman, 2000). Par conséquent, il est

raisonnable de supposer qu'un profil de traits de personnalité spécifique et des attitudes implicites particulières pourraient moduler l'impact d'un manque de sommeil sur la prise alimentaire.

1.5. Objectif et hypothèses

L'objectif général de la présente étude est d'explorer le rôle des caractéristiques interindividuelles et des processus mentaux dans l'impact d'un manque de sommeil sur la prise alimentaire.

1.5.1. Hypothèse générale

À la suite d'une restriction de sommeil où la perte de sommeil se fait davantage dans la deuxième moitié de la nuit, les individus auront tendance à prendre des décisions plus risquées et les caractéristiques interindividuelles vont moduler la prise alimentaire de façon telle que certaines personnes vont consommer davantage de calories, d'autres moins et d'autres n'apporteront pas de changement dans leur prise alimentaire. Ainsi, le moment de la restriction de sommeil entrainera un impact sur la prise alimentaire des individus selon qu'ils se couchent plus tard ou se lèvent plus tôt que leur heure habituelle.

1.5.1.1. Hypothèse spécifique 1.

À la suite d'une restriction de sommeil, les personnes auront tendance à prendre des décisions plus risquées. Une augmentation du nombre de décisions risquées après la restriction de sommeil sera associée à une diminution du sommeil paradoxal et aux traits de personnalité généralement liés à la prise de risque. Cette hypothèse fait l'objet de l'**Article #1**.

1.5.1.2. Hypothèse spécifique 2.

Les personnes présentant des caractéristiques liées à une plus forte tendance à prendre des risques (une personnalité plus impulsive, qui recherche davantage les sensations et une forte sensibilité à la récompense) présenteront une plus grande augmentation de leur apport énergétique (en kcal) principalement en lipides et en glucides à la suite d'une restriction de sommeil. Cette hypothèse est traitée dans l'**Article #2**.

1.5.1.3. Hypothèse spécifique 3.

Les personnes ayant des biais implicites plus négatifs envers la nourriture jugée « santé » et plus positifs envers la nourriture jugée « peu santé » présenteront une plus grande augmentation de leur apport énergétique (en kcal) principalement en lipides et en glucides à la suite d'une restriction de sommeil. Cette hypothèse spécifique est abordée dans l'**Article #2**.

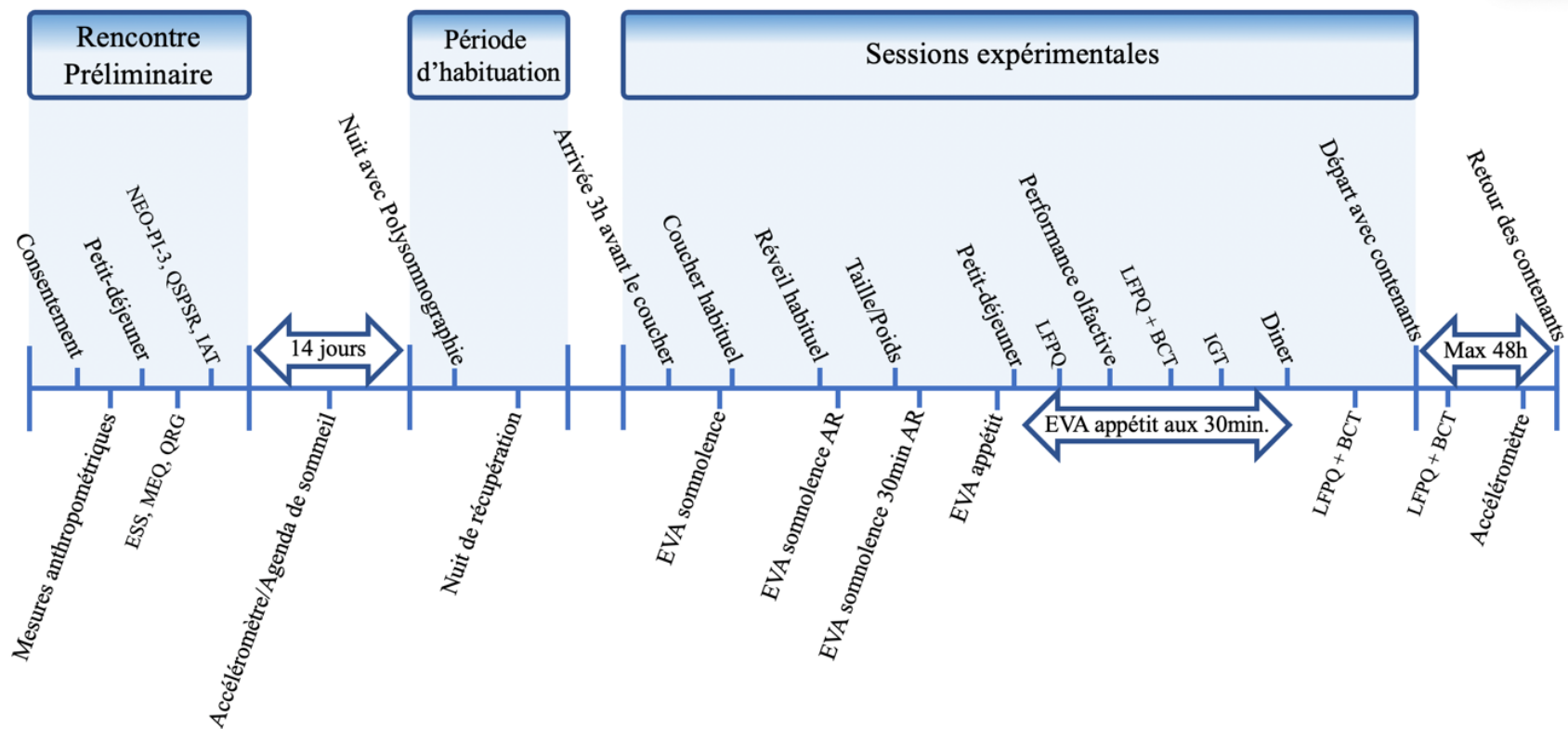
CHAPITRE II

Résumé du protocole de recherche complet

Tel que mentionné dans la section « Avant-propos », le présent essai doctoral s’inscrit dans un plus grand projet qui avait pour but d’explorer l’impact d’une restriction de 50% du sommeil, ainsi que le moment du sommeil, sur la balance énergétique. Les prochains paragraphes résument l’ensemble des procédures et mesures effectuées par les participants pour bien exposer l’envergure du projet (la séquence exacte est illustrée par la **Figure 1**). Les éléments méthodologiques spécifiques en lien avec le présent essai doctoral sont détaillés dans les deux articles qui suivront par la suite dans les chapitres III et IV. Pour le détail des tâches non incluses dans l’essai, vous pouvez consulter McNeil et al. (2016), McNeil, Forest, Hintze, Brunet, Finlayson, et al. (2017), et McNeil, Forest, Hintze, Brunet and Doucet (2017).

Figure 1

Séquence du protocole et mesures effectuées pour l'ensemble du projet de recherche effectué à l'Unité de recherche sur le comportement et le métabolisme de l'Université d'Ottawa



Notes. ESS, Epworth Sleepiness Scale; MEQ, Morningness-Eveningness Questionnaire; QRG, Questionnaire de renseignements généraux; NEO-PI-3, l'Inventaire de la personnalité NEO-PI-3; QSPSR, Questionnaire sur la sensibilité à la punition et la sensibilité à la récompense; EVA, Échelle visuelle analogique; AR, après réveil; LFPQ, Leeds Food Préférence Questionnaire; BCT, Behavioral Choice Task; IGT, Iowa Gambling Task.

Tout d'abord, il s'agit d'une recherche rigoureuse utilisant un devis de type expérimental avec un modèle à multiples conditions croisées contrebalancées. Ainsi, les sujets ont été assignés de façon aléatoire à différentes séquences de conditions. Tous les sujets ont participé à l'ensemble des conditions, mais l'ordre dans lequel ces conditions étaient complétées se faisait de manière contrebalancée, c'est-à-dire que toutes les différentes séquences d'ordres ont été utilisées à travers les participants (ABC vs ACB vs BAC vs BCA vs CAB vs CBA). Les participants ont complété trois conditions expérimentales : (1) une session contrôle où la durée et le moment habituels du sommeil étaient conservés, (2) une session « lève-tôt » avec une réduction de 50% de la durée de sommeil habituelle, où le participant se couchait au moment habituel, mais se levait à la moitié de la nuit, et (3) une session « couche-tard » avec une réduction de 50% de la durée de sommeil habituelle, où le participant était maintenu éveillé jusqu'au milieu de la nuit avant d'aller dormir, puis ensuite il pouvait se lever au moment habituel.

2.1. Session préliminaire

Préalablement aux sessions expérimentales, les participants ont effectué une session préliminaire. Lors de cette première rencontre, les participants arrivaient à l'URCM à 8h du matin et ils confirmaient n'avoir consommé rien d'autre que de l'eau les 12h précédents la rencontre. Les participants étaient d'abord informés des procédures expérimentales et de l'équipement qui serait utilisé pour la collecte de données. Le formulaire de consentement était rempli et signé par chaque participant (voir **Annexe C**). Ensuite, des mesures anthropométriques étaient effectuées, soit le poids (balance numérique BWB-800AS), la taille (stadiomètre standard, Tanita Corporation of America, Inc.), la composition corporelle (évaluée par

absorptiométrie à rayons X à double énergie, Lunar Prodigy, General Electric, Madison, WI, USA) et la dépense énergétique au repos (évaluée par calorimétrie indirecte avec un chariot métabolique Vmax Encore 29N, SensorMedics Corporation, Yorba Linda, CA, USA). Puis, un petit-déjeuner standardisé était déterminé (voir McNeil et al. (2016) pour une description détaillée de cette procédure). Brièvement, pendant une période de 15 minutes, divers aliments étaient proposés aux participants (voir **Annexe D**) et ils pouvaient en manger autant qu'ils le souhaitent. La quantité consommée était mesurée au gramme près et cette même quantité était ensuite donnée comme petit-déjeuner standardisé après chacune des nuits expérimentales. Lors de la rencontre préliminaire, chaque participant a également rempli l'« *Epworth Sleepiness Scale* » (Johns, 1991) afin de déterminer s'il présentait un degré élevé de somnolence diurne (les participants avec score total ≥ 10 étaient exclus du projet; voir **Annexe E**). De plus, ils ont effectué le « *Morningness-Eveningness Questionnaire* » (Horne & Östberg, 1976) afin de conserver uniquement les participants n'ayant pas un chronotype définitif de soir ou de matin (les personnes ayant obtenues un résultat inférieur à 42 ou supérieur à 58 étaient exclues; voir **Annexe F**). Ils ont également rempli un questionnaire de renseignements généraux (questionnaire maison; voir **Annexe G**) pour s'assurer que chaque participant respectait les autres critères de l'étude. Ensuite, les participants retenus ont complété plusieurs outils de mesures: 1) l'Inventaire de la personnalité NEO-PI-3 (McCrae et al., 2005), un questionnaire largement utilisé dans le domaine de la recherche sur le sommeil (Killgore et al., 2007; Kim et al., 2015; Wilhelmsen-Langeland et al., 2014), pour mesurer les traits de personnalités ciblés par la présente étude, 2) le Questionnaire sur la sensibilité à la punition et la sensibilité à la récompense (Torrubia et al., 2001) pour mesurer la sensibilité à la récompense, 3) le Test d'association implicite (Greenwald et al., 1998) pour mesurer les biais implicites envers la

nourriture, ainsi que 4) le Questionnaire sur les habitudes alimentaires de Stunkard and Messick (1985) pour mesurer trois construits distincts des habitudes alimentaires: la restriction alimentaire, la désinhibition et la sensibilité à la faim. Suite à la rencontre préliminaire, tous les participants devaient porter un accéléromètre biaxial (SenseWear Pro 3 Armbands, HealthWear Bodymedia, Pittsburgh, PA, USA) pendant 14 jours consécutifs afin de monitorer leur rythme veille-sommeil ainsi que leur dépense énergétique. Ils ont également tenu un agenda de sommeil (voir **Annexe H**) au cours de la même période. Les données de l'accéléromètre, confirmées par l'agenda de sommeil, ont permis de mesurer l'horaire et la durée habituels du sommeil de chaque participant afin de pouvoir ensuite déterminer l'heure du coucher et du réveil de chacun lors de leurs sessions expérimentales.

2.2. Sessions expérimentales

Suite à la session préliminaire, les participants sont revenus à l'URCM pour un total de quatre nuits d'enregistrement polysomnographique étalées sur quelques semaines. Avant leur première session expérimentale, les participants avaient une nuit d'adaptation avec enregistrement polysomnographique au laboratoire, suivi d'une nuit à la maison pour récupérer, sans polysomnographie. Les participants ont ensuite effectué les trois sessions expérimentales de façon contrebalancée. Une période de sevrage d'au moins sept jours était intercalée entre chaque session pour les hommes et environ un mois pour les femmes (ces dernières n'étant pas testées entre les jours 1 et 8 du cycle menstruel, afin d'éviter que les symptômes menstruels affectent l'efficacité du sommeil; Baker & Driver, 2004; Woosley & Lichstein, 2014).

Lors de chaque nuit en laboratoire, les participants arrivaient trois heures avant l'heure habituelle du coucher afin d'installer les électrodes. Ils devaient alors confirmer ne pas avoir

consommé de café en après-midi le jour même et ne pas avoir consommé d'alcool ou pratiqué une activité physique intense pendant au moins 24 heures avant le début de chaque session. Ces restrictions ont perduré pendant la période de collecte des données (c.-à-d. les deux jours suivants). Des échelles visuelles analogiques pour évaluer la perception subjective de somnolence étaient effectuées au moment du coucher, du réveil, ainsi que 30 minutes après le réveil. La taille et le poids corporel étaient également mesurés à l'heure habituelle de réveil. Le petit-déjeuner standardisé était servi 1.5h après l'heure de réveil habituel (il s'agit d'un délai habituel permettant le retrait des électrodes, d'une période pour l'hygiène personnelle et d'une période pour la prise des mesures anthropométriques). Des échelles visuelles analogiques pour évaluer la perception subjective des participants sur des paramètres de l'appétit (désir de manger, faim, satiété) étaient administrées avant la consommation du petit-déjeuner, immédiatement après et toutes les 30 minutes pendant les 3 heures suivant le petit-déjeuner. La performance olfactive (sniffin sticks, Burghart Instruments, Wedel, Allemagne) a été évaluée 175 minutes après le réveil habituel (voir McNeil et al., 2017).

Les participants devaient également compléter le « Leeds Food Préférence Questionnaire » (LFPQ) et le « *Behavioral Choice Task* » (BCT), deux tâches à l'ordinateur conçues pour évaluer le désir explicite et implicite des participants pour divers types de nourriture (Finlayson et al., 2008; McNeil, Forest, Hintze, Brunet, & Doucet, 2017). Le LFPQ a été effectué 60 minutes et 180 minutes après le petit-déjeuner, immédiatement après le diner, et le lendemain, 3 à 5 heures après l'heure de réveil habituel, selon la disponibilité de chaque participant. Le BCT était effectué juste après le LFPQ, sauf après la première administration du LFPQ. Pour évaluer la prise de décision, tous les participants ont effectué l'« *Iowa Gambling Task* » (Bechara et al., 1994) vers midi après la nuit contrôle et la nuit « lève-tôt ». Le niveau d'énergie et de

macronutriments *ad libitum* (à volonté) consommés au dîner et pour le reste de la journée et le lendemain ont été mesurées suivant chaque nuit avec un menu alimentaire validé (voir **Annexe I**; McNeil et al., 2012). Le dîner était présenté aux participants 3.5h après le petit-déjeuner et ils ont eu 30 minutes pour consommer la quantité qu'ils voulaient. Ensuite, ils ont eu à choisir tous les aliments, parmi ceux du menu validé qu'ils pensaient possiblement vouloir consommer dans la journée et le jour suivant. Les produits sélectionnés ont été ensuite préparés, pesés et emballés dans des conteneurs qu'ils ont emportés avec eux. Les participants devaient porter un accéléromètre biaxial pendant le reste de la journée et le jour suivant pour évaluer l'heure du coucher, l'heure du réveil, la durée du sommeil, l'efficacité du sommeil ainsi que la dépense énergétique en condition de vie en liberté. La boîte à lunch avec les emballages et l'accéléromètre devaient être rapportés au laboratoire au maximum deux jours plus tard. Bien que la prise alimentaire ait été mesurée sur les deux jours suivants la nuit en laboratoire, le présent essai se concentre seulement sur l'apport énergétique de la première journée afin d'isoler l'impact immédiat d'une restriction de sommeil. La dépense énergétique ainsi que plusieurs variables de sommeil et de prises alimentaires ont fait l'objet d'une publication qui ne fait pas partie du présent essai (McNeil et al., 2016).

CHAPITRE III

The association between REM sleep and decision-making: Supporting evidences

Auteurs : Jean-François Brunet, Jessica McNeil, Éric Doucet, & Geneviève Forest

Statut de l'article : Cet article a été accepté pour publication le 25 juillet 2020 et publié le 15 octobre 2020 dans journal *Physiology & Behavior*.

Citation : Brunet, J. F., McNeil, J., Doucet, É., & Forest, G. (2020). The association between REM sleep and decision-making: Supporting evidences. *Physiology & Behavior*, 225, 113109. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2020.113109>

Contributions : J-FB, JM, GF et ÉD ont formulé les questions de recherche et conçu l'étude. J-FB et JM ont réalisé l'expérience. J-FB a analysé les données. J-FB, JM et GF ont rédigé le manuscrit et tous les auteurs ont approuvé la version finale.

3.1. Abstract

Studies suggest that REM sleep is important for the maintenance of prefrontal cortex functioning. Therefore, reducing REM sleep may have an impact on cognitive functions such as impulse control and decision-making processes. This study examined the association between impulsiveness and sensation seeking personality traits, REM sleep and performance on a decision-making computer task following a habitual night of sleep and a partial sleep deprivation (PSD) condition with advanced wake-up time. Eighteen young adults participated in two

experimental conditions: a control (habitual bedtime and wake time) and a 50% PSD with an advanced wake time. Impulsiveness and sensation seeking personality traits were measured with a personality inventory (NEO-PI-3), sleep was assessed using standard polysomnography and the Iowa Gambling Task (IGT) was completed at noon following each sleep condition. Results showed that when sleep deprived, participants choose more often to play riskier decks of cards during the last half of the IGT. Results also showed that REM sleep duration and REM sleep deprivation were associated with riskier decisions on the IGT. Moreover, impulsiveness was associated with riskier decisions after a normal night of sleep. These findings suggest that REM sleep duration and impulsiveness are important factors to consider while investigating decision-making processes under conditions of uncertainty and risk.

Keywords: REM sleep deprivation, Impulsivity, Decision-making

3.2. Introduction

Decision-making processes may lead to risk-taking behaviors, which can have various negative consequences (e.g. reckless driving, drug use, unsafe sexual practices) (Byrnes et al., 1999). Although underlying mechanisms are numerous and are still not fully understood, we now know that some individuals may have personality traits that predispose them to taking risks (Zuckerman & Kuhlman, 2000). For example, impulsiveness and sensation seeking personality traits have been associated with risk-taking behaviors such as gambling (Zuckerman & Kuhlman, 2000). Conversely, it has been shown that situational factors, such as sleep deprivation, may also lead to riskier decisions (Killgore et al., 2006; Womack et al., 2013). It is well known that the prefrontal cortex region is a major center of executive control such as planning, inhibition control, and decision-making (Womack et al., 2013). Most studies support that the frontal lobes

are distinctly fragile to sleep loss (Womack et al., 2013). However, decision-making process is a very complex system with many components, which may be affected differently by sleep loss.

Recent studies have shown that cognitive functions involving emotional processing, such as emotionally-based decisions, are impaired after sleep deprivation (Anderson & Dickinson, 2010; Yoo et al., 2007). For example, sleep loss negatively impact mood and emotional functioning, and these changes may then have negative impacts on risk assessment, feelings of trust, and impulsive decision-making (Kerkhof & Van Dongen, 2010). Furthermore, studies have shown that being exposed to a potential gain or reward, rather than a potential loss, when sleep deprived, leads to riskier decision-making (Killgore et al., 2006; Venkatraman et al., 2007). It has been shown that in the context of sleep deprivation, the connectivity between the amygdala and the medial prefrontal cortex is attenuated to give way to a predominant connectivity between the amygdala and the brain stem structures (locus coeruleus and midbrain) involved in more automatic responses of the brain (Yoo et al., 2007). This new pathway is believed to result in a loss of control from the prefrontal lobe, down to the limbic system, resulting in an extreme sensitivity of the amygdala to emotional stimuli (Yoo et al., 2007). Recent humans and animals research suggest that REM sleep may be of particular importance for the emotional processing (Pace-Schott et al., 2015). For example, Goldstein and Walker (2014) observed that REM sleep contribute to resetting functions within key brainstem, limbic, and prefrontal brain regions, in order to restore optimal emotional reactivity for the upcoming day, and thus possibly impacting risk assessment. Also, many brain structures involved in the “emotional brain”, including the amygdala, the cingulate cortex and the prefrontal cortex, are selectively activated or deactivated during REM sleep (Maquet et al., 1996). Research have also showed that REM sleep play an important role in the regulation of particular neural pathways involved in the processing of fear,

danger or threat, key components in risk-assessment, and thus in decision-making processes (Boyce et al., 2016; Genzel et al., 2015; Siegel & Rogawski, 1988; Yoo et al., 2007).

Over the years, most of the sleep deprivation studies on emotional processing and decision-making have used total sleep deprivation settings (not sleeping at all), which does not represent what is most commonly found in normal populations (Demos et al., 2016). On the other hand, studies using partial sleep deprivation (PSD) settings (cutting off only a part of the night) have shown mixed results, as changes in decision-making processes are not always found (Demos et al., 2016; Sundelin et al., 2019). This may be in part due to the lack of sensitivity of some tests to the effect of PSD. Moreover, given the link between REM sleep, prefrontal cortex and the limbic system, different PSD protocols could lead to mixed results on decision-making, depending on their impact on REM sleep. The Iowa Gambling Task (IGT) is one of the most well-known tasks used to assess decision-making in research, but also in clinical settings (Buelow & Suhr, 2009). For instance, several studies involving participants with ventromedial prefrontal cortex lesions, a region sensitive to sleep loss, noted a tendency to make riskier decisions on the IGT compared to control subjects (Buelow & Suhr, 2009). The objective of this study was to explore the possible associations between personality traits (impulsiveness, sensation seeking), REM sleep duration, and the performance on the IGT following a habitual sleep night (control condition) and a PSD condition with an advanced wake time (experimental condition), thus significantly reducing REM sleep duration.

3.3. Material and Methods

3.3.1. Participants

Eighteen participants (12 men, 6 women) aged 18 to 33 years (mean age 23 ± 4 years) completed all conditions and measurements. They were all non-smokers, and weight stable (± 4 kg) for 6 months prior to the study. Participants were excluded if they had heart problems, diabetes and were taking medication that could affect sleep. All participants were not shift workers and did not take regular daytime naps. They reported having habitual sleep durations of 7 to 9h per night, which was confirmed with accelerometry (SenseWear Pro 3 Armbands©, HealthWear Bodymedia, Pittsburgh, PA, USA) and sleep diary monitoring for two weeks prior to the experiment. We also excluded individuals with extreme morning or evening chronotype according to the Morningness-Eveningness Questionnaire (Horne & Östberg, 1976). Only women taking monophasic combined estrogen-progesterone birth control were recruited, in order to control for sex-steroid hormones effects on sleep parameters (Baker et al., 2001). The Université du Québec en Outaouais and the University of Ottawa ethics committees approved all procedures. Written informed consent was obtained from all participants.

3.3.2. Procedures and measures

The present analyses are part of a larger study which aimed to investigate the effects of 50% sleep restriction combined with alteration in sleep timing on energy balance. For the description of the full study procedure and measurements, see McNeil et al. (2016). This study follows a randomized crossover design that included three experimental conditions: a control condition with an habitual bedtime and wake-up time, a 50% sleep restriction with an habitual

bedtime and advanced wake time, and a 50% sleep restriction with a delayed bedtime and habitual wake-up time. The prescribed bedtimes and wake times for each condition were based on the two weeks of accelerometry and sleep diaries monitoring prior to the experiment. Hence, the timing of all measurements was different for each participant, but were standardized across conditions and tailored for each participant. The three experimental conditions were randomly assigned to each participant, and at least 7 days separated each condition.

Before the first experimental condition, all participants had a first meeting, follow by an habituation night in the laboratory. During this first meeting, they completed the NEO-PI-3 in order to evaluate personality traits. The NEO-PI-3 (McCrae et al., 2005) is a personality test consisting of 240 statements divided into five dimensions (Neuroticism, Extraversion, Openness, Agreeableness, Conscientiousness), which are then divided into six facets of different personality traits. For the present study, the impulsiveness and sensation seeking facets were used since they have been previously associated with risk-taking behaviors (Zuckerman & Kuhlman, 2000). Following this habituation night in the lab, all participants were given an accelerometer and a sleep diary to measure habitual sleep-wake patterns under free-living conditions for 2 weeks.

For each experimental condition, participants arrived three hours before the usual bedtime to set up the electrodes for the polysomnography recording. Participants were asked to not consume alcohol or exercise for at least 24h, or consume caffeinated products after 12PM (noon), prior to each experimental condition. Sleep was measured with EEG (C3, C4, O1, O2, F3 and F4), EMG (bipolar submental), and EOG on a Medipalm 22 with the Pursuit Advanced Sleep Software (Braebon Medical Corporation, Kanata, Ontario, Canada). Polysomnography recordings were scored independently by 2 judges according to the AASM (American

Association of Sleep Medicine, 2007 AASM (Berry et al., 2012)) criteria using 30-s epochs; discrepancies were resolved by mutual agreement.

To assess decision-making, all participants performed the IGT on a computer at 12PM following the control and the 50% sleep restriction with advanced wake time conditions. Two equivalent versions were used in a counterbalanced manner during the study (positions of the decks were different on the screen between versions) as a way to avoid a learning effect (Killgore et al., 2006). Therefore, the IGT was not administered after the 50% sleep restriction with delayed bedtime condition because it was hypothesized *a priori* that the sleep restriction with an advanced wake time condition would lead to a greater reduction in REM sleep duration (Goldstein & Walker, 2014). The IGT is a computer-based task that assess decision-making (Cauffman et al., 2010). The present study used the modified version of the IGT described in Cauffman et al. (2010). Participants were asked to choose to play or pass four randomly pre-selected decks of cards. In other words, the subjects could not choose freely between the different decks but could only decide to draw a card or not from one deck at a time. Of the four decks of cards, two were advantageous (small amounts of money but long terms gains), and two were disadvantageous and more risky (large amounts of money but long terms losses). When a deck was played, participants either received or lost money (monetary gain was fictional only). When participants passed, they lost nothing, but also gained nothing. Participants had 120 attempts to gain as much money as possible. In order to address the evolutionary nature of the task, these attempts are divided into 6 blocks of 20 trials each. Usually, participants adjust their answers as feedback is received across the different blocks. They gradually learn, as they gain experience, which decks are more or less risky (Buelow & Suhr, 2009). Consequently, performance on the last blocks of the IGT has been considered as the best indicator of decision-

making under risk, whereas the first blocks has been associated with more ambiguous decision-making (Buelow & Suhr, 2009).

3.3.3. Data analysis

To assess the performance on the IGT, the three primary outcomes described by Cauffman et al. (2010) were used in the analyses: the percentage of disadvantageous decks (%Disadvantageous) chosen by each participant, the percentage of advantageous decks (%Advantageous) chosen, and the net score (%Advantageous minus %Disadvantageous). The analyses were first conducted on the 120 trials (global performance) and, then, on the trials of the second half (last 3 blocks) of the task (Buelow & Suhr, 2009). We conducted paired-sample t-tests to assess differences in sleep measurements and in the IGT outcomes. The Wilcoxon signed-rank test was used for non-normally distributed data according to the Shapiro Wilk test. Since significant differences were obtained with %Disadvantageous on the second half of the task, multiple linear regression models were computed to explore the unique contribution of the personality traits and REM sleep duration to the %Disadvantageous for each sleep condition separately. Given the large number of evidences of gender and age differences in sleep and decision-making processes, it would be important to consider those variables in the analyses. However, given the small sample size of this study, it was not possible to compare men and women or to divide the participants in different age groups. Therefore, gender and age were added as control variables in the regression models. Finally, since an association was found between REM sleep duration and %Disadvantageous in both sleep conditions, a simple Pearson correlation analysis was calculated between Delta REM sleep duration (PSD minus control) and Delta %Disadvantageous (PSD minus control) in order to verify if changes in REM sleep

duration are associated with changes in %Disadvantageous. All statistical analyses were conducted using SPSS (version 23.0; SPSS Inc., Chicago, IL). All assumptions were considered, and variables were analysed accordingly. Differences with p values $<.05$ were considered statistically significant.

3.4. Results

Descriptive characteristics are presented in Table 1. Additional descriptive data on the in-laboratory sleep and energy balance parameters assessed during each condition can be found in McNeil et al. (2016). As expected, participants slept significantly less in the PSD condition, which impacted significantly the absolute and relative amount of the sleep stages compared to the control condition (see Table 1). In sum, all absolute amounts of sleep stages were significantly reduced, since the total sleep duration was cut by half a night. The relative amounts of each sleep stage showed that the advanced wake time condition successfully reduced the amount of REM sleep, as it was intended.

Table 1

Descriptive data: sleep parameters and performance on the Iowa Gambling task during each session (n=18)

	Control	PSD with advanced wake time	Comparison test	
	<i>Mean ± SD</i>	<i>Mean ± SD</i>	<i>t value</i>	<i>p value</i>
Sleep parameters				
Sleep duration (min)	463.01 ± 29.81	229.26 ± 16.68	45.69	<.001*
N1 (min)	17.76 ± 9.34	6.88 ± 3.68	5.39	<.001*
N2 (min)	245.34 ± 35.28	112.99 ± 28.96	18.94	<.001*
N3 (min)	91.50 ± 31.98	75.75 ± 33.81	2.81	.01*
REM (min)	108.41 ± 23.81	33.63 ± 7.34	14.75	<.001
Sleep efficiency (%)	94.62 ± 3.48	92.85 ± 4.47	<i>n.a.</i>	.09
N1 (%)	3.67 ± 1.85	2.88 ± 1.47	1.74	.10
N2 (%)	51.11 ± 7.01	47.63 ± 12.48	1.51	.15
N3 (%)	19.06 ± 6.60	31.79 ± 14.16	-5.34	<.001*
REM (%)	22.57 ± 4.65	14.16 ± 2.92	8.30	<.001*
IGT				
Advantageous (%)	80.66 ± 15.48	84.51 ± 10.33	-1.06	.31
Disadvantageous (%)	69.97 ± 19.40	75.71 ± 15.76	-1.50	.15
Net score (%)	8.00 ± 20.57	7.13 ± 15.06	<i>n.a.</i>	.78

Notes. t values are available only for normally distributed data; IGT, Iowa Gambling task; PSD, partial sleep deprivation; SD, standard deviation; N1-N3 (min), absolute amount of non-REM sleep stages; N1-N3 (%), relative amount of non-REM sleep stages; REM, rapid eye movement; Advantageous (%), percentage of advantageous decks chosen by each participant; Net score (%), Advantageous – Disadvantageous; Sleep efficiency is calculated as [(sleep time/time in bed)*100].

No differences in global performances on the IGT were noted between conditions. On the other hand, further analyses on the trials of the last 3 blocks revealed a significant tendency to choose more disadvantageous decks after the PSD condition compared to the control condition ($Z = -2.08, p = .038$; see Figure 1).

Results from the multiple regression models are presented in Table 2. For the control condition, results showed that impulsiveness and REM sleep duration collectively explained 71% of the variance of %Disadvantageous ($p < .001$). For the PSD session, results showed that the model explained significantly 46.2% of the variance of %Disadvantageous ($p = .02$). However, it was not possible to determine the exact contribution of each variable, but Age and REM sleep duration both shows strong tendencies. Post-hoc analysis showed that changes in REM sleep duration were significantly associated with changes in %Disadvantageous between sleep

conditions ($r = -.49, p = .04$), suggesting that a higher decrease in REM sleep duration was associated with a higher tendency to play riskier decks (see Figure 2).

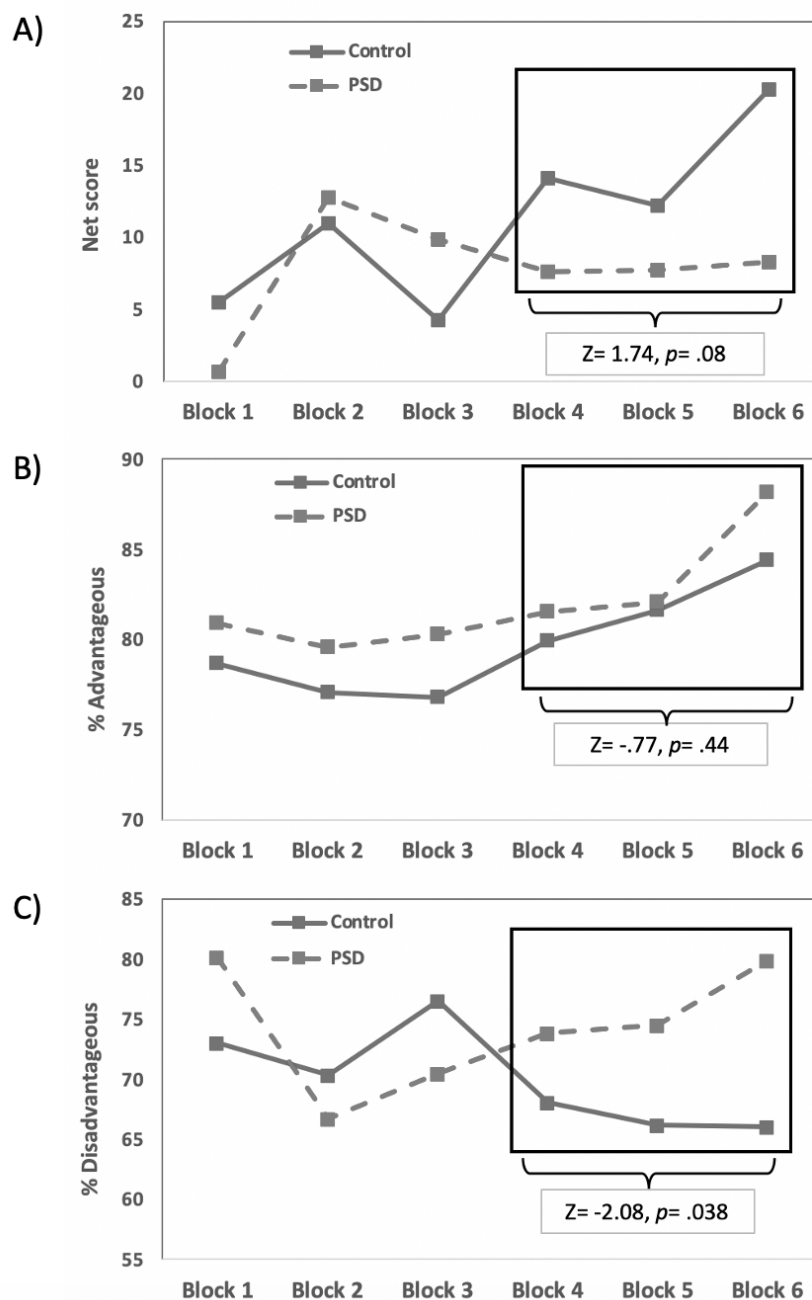


Figure 1. Results for the Wilcoxon signed-rank test conducted on the trials of the second half (last 3 blocks) of the IGT between the control and PSD conditions for each outcome: (A) Net score, %Advantageous minus %Disadvantageous; (B) %Advantageous, the percentage of advantageous decks chosen; (C) %Disadvantageous, the percentage of disadvantageous decks chosen.

Table 2

Results from the multiple linear regression models presenting the associations between each predictor with Disadvantageous% during both sleep conditions.

	β	95% CI	Control		PSD with advance waketime			
			SE	p value	β	95% CI	SE	p value
Impulsiveness	.43	[.32, 1.93]	.37	.01*	.24	[-.35, 1.38]	.40	.22
Sensation seeking	.04	[-.81, 1.00]	.41	.82	.33	[-.28, 1.67]	.45	.15
REM	-.59	[-.73, -.23]	.12	.001*	-.38	[-1.69, .07]	.40	.07
Age	.28	[-.12, 2.93]	.70	.07	.39	[-.07, 3.30]	.77	.06
Gender	.19	[-6.86, 21.93]	6.60	.28	.11	[-11.92, 18.82]	7.05	.63

Notes. Disadvantageous%, percentage of disadvantageous decks chosen by each participant; PSD, sleep deprivation; REM%, relative amount of REM sleep for each condition; CI, confidence interval; SE, standard error.

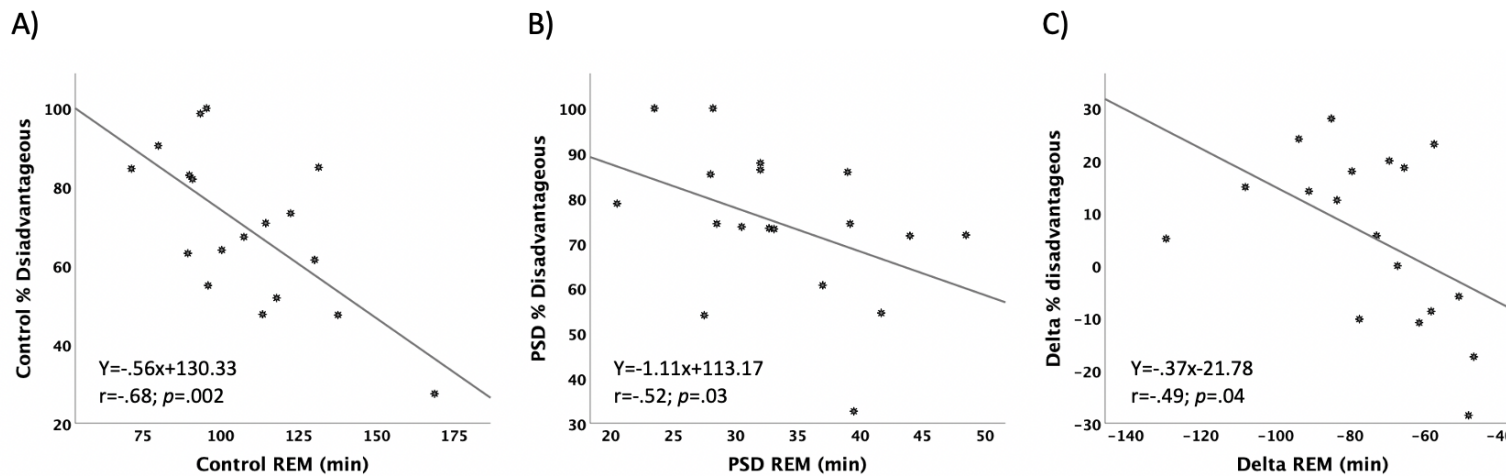


Figure 2. Relation between the % of disadvantageous deck chosen and the amount of REM sleep for the control and PSD condition (A and B) and the differences between conditions (C) (Delta REM = PSD minus control, Delta %Disadvantageous = PSD minus control). Linear regression equation and Pearson correlation coefficient are presented in each scatter plot.

3.5. Discussion

The objective of this study was to explore the possible associations between personality traits, REM sleep, and decision-making. Our results showed that when partially sleep-deprived, participants choose more often to play riskier decks of cards during the last half of the IGT, revealing a difficulty in decision-making under conditions of uncertainty. More interestingly, our results suggest that there is a relationship between REM sleep and the decision-making processes measured by the IGT.

It is already documented that risk-taking behaviors are more prominent in sleep deprivation conditions (Womack et al., 2013), but the implication of REM sleep has thus far been less clear. In our study, sleep loss did not result in any changes in the primary outcomes on the IGT. That was partly expected, since studies using PSD settings have frequently shown mixed results (Demos et al., 2016; Sundelin et al., 2019). However, more specific analyses on the last half of the task, which have previously been associated with decisions under risk (Brand et al., 2007), revealed that participants tended to choose a greater proportion of disadvantageous decks after sleep loss, compared to a normal night of sleep. Interestingly, the amount of REM sleep reduction was associated with a proportional increase in riskier decisions on the IGT. Our results thus seem to support the hypothesis that REM sleep may be important for maintaining cognitive functions that are closely related to the prefrontal lobes, a region involved in decision-making (Goldstein & Walker, 2014). Our results are also consistent with previous studies showing that participants with ventromedial prefrontal cortex lesions, choose more disadvantageous decks, have difficulties in weighting reward and punishment contingencies, and are more inclined to take risks in their daily lives (Bechara et al., 2000). Moreover, our results are in accordance with functional neuroimaging studies showing a decrease in the functional connectivity between

different mesolimbic and striatal structures of the reward system, and the prefrontal cortex after sleep deprivation that impairs emotion management, reward, and punishment analysis (Goldstein & Walker, 2014; Gujar et al., 2011; Venkatraman et al., 2007; Yoo et al., 2007). Finally, REM sleep behavior disorder patients, who are presenting REM sleep disruptions, show a similar pattern of response as our participants on the IGT (Delazer et al., 2012), reinforcing the idea that the physiology of REM sleep contributes to the decision-making processes under risk.

Over the years, human and animal models research has shed more light on the role of sleep, and more specifically REM sleep, in decision-making processes. Many studies are supporting the role of REM sleep in the regulation of the emotional and motivational state associated with the reward system, which are in turn associated with decision-making and risk-taking behaviors (Gujar et al., 2011; Killgore et al., 2006; Z. Liu et al., 2016; Venkatraman et al., 2007). For example, Z. Liu et al. (2016) showed that sleep deprivation induce sucrose seeking and consumption but not food intake, suggesting a selective increase in the motivational component of the reward system. The authors also showed that sleep deprivation impairs the glutamate release of the medial prefrontal cortex to the nucleus accumbens, which is an important region for the emotional and motivational response to reward (Z. Liu et al., 2016). Other studies have confirmed that the brain glutamatergic system plays an important role in animal fear and human anxiety, both of which are closely associated with the decision-making process. For example, a study showed an alteration in the glutamate level in the cortico-limbic circuit after sleep deprivation, which was associated with reduced fear-like behaviors and increased risk-taking behaviors in rats (Cortese et al., 2010). These authors found an inverse relationship between glutamate levels in the medial prefrontal cortex and risk-taking behavior.

Results of our study are very much in line with these studies and contribute to the hypothesis that REM sleep plays a significant role in risk-taking behaviors.

On another note, our study also show that specific personality traits may contribute to altered decision-making under risk, but only when well rested. More precisely, our results showed that having a higher impulsiveness personality trait (higher tendency to make impulsive decisions) was associated with riskier decisions on the IGT after a normal night of sleep. These results suggest that personality traits could have different impacts on behaviors based on current sleep debt. For example, it is possible that under optimal sleep conditions, personality traits may influence behaviors and decision-making processes, but following sleep deprivation, other factors (such as frontal lobes dysfunctions) may become more prominent and have stronger effects in directing those behaviors and mental processes (Kerkhof & Van Dongen, 2010; Venkatraman et al., 2007).

The performance on the IGT has been previously associated with age and gender, risky behaviors being more prominent in younger men (Cauffman et al., 2010; van den Bos et al., 2013). Considering the fact that our study included a relatively small homogenous sample of young (18 to 33 years old), healthy adults, mostly men (12 men and 6 women), and with a high sleep efficiency ($\geq 85\%$), it is not surprising that we did not find any significant associations between age, gender and the IGT outcomes. On the other hand, despite the fact that our sample was small, results are showing strong associations between the amount of REM sleep and people's performance on the IGT. This suggest consistent patterns in all participants, both men and women, across conditions. However, further studies are needed to replicate our results with a broader population, including both men and women of different age group.

In conclusion, these findings suggest that REM sleep duration and impulsiveness personality trait are important factors to consider while investigating risky decision-making. For instance, adolescents are more prone to making riskier decisions but may also be more prone to be REM sleep deprived, as they tend to have a delay in their circadian rhythms, but still need to wake early to go to school (Carskadon et al., 1998). Therefore, adolescents may experience frequent REM sleep deprivation, which may lead to the adoption of more frequent and/or riskier behaviors. Additional studies are needed to assess this hypothesis, given the implications that the current findings may have on adolescent's propensity towards risk-taking behaviors. Understanding underlying mechanism to decision-making may help prevent negative consequences such as reckless driving, drug uses and unsafe sexual practices. Thus, by exploring the possible implications of personality traits and REM sleep in this process, our study helps understand the complex interactions that guide every choice we make.

3.6. Acknowledgements

The authors would like to thank the participants for their involvement in this study. The authors would also like to thank Luzia Jaeger Hintze, Isabelle Chaumont, Émilie Langlois, Riley Maitland and Alexandre Riopel for their involvement in data collection.

CHAPITRE IV

The effects of sleep restriction on food intake: Exploring the importance of interindividual characteristics

Auteurs : Jean-François Brunet, Jessica McNeil, Luzia Jaeger Hintze, Éric Doucet, & Geneviève Forest

Statut de l'article : Cet article a été soumis pour publication le 21 janvier 2021 au journal *Appetite*. Il est présentement en évaluation.

Contributions : J-FB, JM, GF et Éd ont formulé les questions de recherche et conçu l'étude. J-FB, JM et LJH ont réalisé l'expérience. J-FB a analysé les données. J-FB et GF ont participé à la rédaction du manuscrit et tous les auteurs ont approuvé la version finale.

4.1. Abstract

Sleep restriction (SR) often leads to an increase in energy intake (EI). However, large variability in EI after SR is often observed, which suggests that individual characteristics may affect food intake. The objective of this study was to explore the influence of characteristics generally associated with risk-taking (sensitivity to reward and personality traits: impulsiveness, sensation seeking) and implicit attitudes toward food on EI after sleep loss. 17 subjects completed the NEO-PI-3, an Implicit Association Test measuring implicit attitudes towards healthy and unhealthy foods, and the Sensitivity to Punishment and Sensitivity to Reward Questionnaire. 24h *Ad libitum* EI was assessed following a habitual sleep night, a 50% SR with

an advance wake time and a 50% SR with a delayed bedtime. Changes in EI between each SR and the control condition (ΔEI) was calculated for each subject. Despite no changes in overall EI between sleep conditions, results showed large interindividual variations (-669 to +899kcal) across SR conditions. Regression modeling showed that sensation seeking and favorable implicit attitudes towards food were two significant predictors of ΔEI for the advance wake time condition. For the delayed bedtime, sensation seeking was also associated with ΔEI while controlling for age, sex, REM sleep and implicit attitudes. These results suggest that certain personality traits and implicit attitudes toward food are associated with changes in EI after sleep loss.

Keywords: Energy intake, Sensation seeking, Implicit attitudes, Sleep deprivation

4.2. Introduction

A number of studies have reported that chronic sleep deprivation can lead to increased energy intake (EI), which could then lead to long-term weight gain (Al Khatib et al., 2017; Chaput, 2016; Markwald et al., 2013; Spaeth et al., 2013). An average increase of 300 to 500 kcal over 24 hours has been reported following imposed sleep restriction conditions compared to control conditions (Al Khatib et al., 2017; Markwald et al., 2013; Spaeth et al., 2013). However, studies have also reported high degrees of variability in EI following imposed sleep restriction (Klingenberg et al., 2012; McNeil & St-Onge, 2017; Nedeltcheva et al., 2009). For instance, a mean increase of 297 kcal per day with a 440 kcal standard deviation was reported following 5.5 hours of sleep per night for 14 consecutive nights when compared to EI following a control condition of 8.5 hours of sleep over 14 days (Nedeltcheva et al., 2009). Similarly, McNeil and

St-Onge (2017) reported large interindividual variations in EI (ranging from -813 to +1437 kcal/day) when combining results from two randomized crossover studies that included at least one imposed sleep restriction and a control condition. Taken together, these studies provide preliminary evidence of a wide variability in EI changes in response to sleep restriction. It is currently unknown which biological mechanisms and/or psychological factors could be associated with these interindividual differences in response to sleep deprivation, thus further investigation into these possible underlying factors is needed.

Recent studies have shown modifications in reward and food-sensitive centers of the brain following sleep restriction (Greer et al., 2013; St-Onge et al., 2014; St-Onge et al., 2012). Furthermore, after sleep loss, changes in brain activity have been associated with changes in food perception and eating behaviors (Benedict et al., 2012; Greer et al., 2013). For example, it has been reported that individuals have a greater desire for high-calorie foods and rate these types of foods as being more appetizing when sleep deprived compared to a habitual sleep duration condition (Benedict et al., 2012; Greer et al., 2013). Additionally, some studies have shown that sleep deprived individuals are more likely to make riskier decisions, especially if there is a potential reward to be gained (Killgore et al., 2008; Killgore et al., 2007; McKenna et al., 2007; Venkatraman et al., 2007; Womack et al., 2013). This could be explained by the particular fragility of the prefrontal cortex to sleep loss, a region known to be important for executive functions such as planning, inhibition control, and decision-making (Womack et al., 2013). Interestingly, some individuals are more prone to take risks. Indeed, excitement seeking behaviors and impulsiveness personality traits have been previously associated with risk-taking behaviors (Young et al., 2012; Zuckerman & Kuhlman, 2000) and positively associated with a high sensitivity to reward (Torrubia et al., 2001). However, no study to date has investigated the

association between risk-seeking personality traits with changes in EI in response to sleep restriction.

Several studies have also shown that attitudes towards food can also influence food choices. For instance, it is believed that when individuals make food choices, each item is evaluated based on beliefs and attitudes that were developed through life experiences (Furst et al., 1996; Sobal et al., 2006). Studies showed that explicit and implicit attitudes are partly regulated by the prefrontal regions in order to manifest through adapted behaviors (Stanley et al., 2008). However, as previously mentioned, studies show that the frontal lobes are reported to be distinctly fragile to sleep loss (Womack et al., 2013).

The objective of the present study was to explore how interindividual characteristics play a role in the impact of sleep deprivation on food intake. We hypothesized that characteristics generally associated with a tendency to participate in risk-taking behaviors (a higher sensitivity to reward and personality traits such as impulsiveness and sensation-seeking) and a lower negative bias towards sweet and fatty foods (categorized as “unhealthy”) will be associated with a greater increase in EI following partial sleep deprivation compared to a normal night of sleep (control sleep condition).

4.3. Methods

4.3.1. Participants

Eighteen participants (twelve men and six women) were recruited for this study. Participants were excluded if they were not weight stable (± 4 kg) for 6 months prior to the study, were smokers, had heart problems, diabetes or were taking medication that could affect

sleep. We also excluded individuals who reported being shift workers, who had irregular sleep patterns (we included only individuals with habitual sleep durations of 7 to 9h per night which was confirmed with accelerometry [SenseWear Pro 3 Armbands©, HealthWear Bodymedia, Pittsburgh, PA, USA] and sleep diary monitoring for two weeks prior to the experiment), a tendency to take regular daytime naps or with extreme morning or evening chronotypes according to the Morningness-Eveningness Questionnaire (Horne & Östberg, 1976). Finally, in order to monitor the effects of steroid sex hormones on sleep parameters, only women taking a monophasic estrogen/progesterone contraceptive were recruited (Baker et al., 2001). One participant did not complete all of the study measurements (McNeil et al., 2016). Consequently, data for 17 participants were analyzed (11 men and six women; age: 23 ± 4 years, BMI: 22.8 ± 2.7). This study was conducted according to the guidelines laid down in the Declaration of Helsinki. All procedures were approved by the ethics committees of the Université du Québec en Outaouais and the University of Ottawa, and written informed consent was obtained from all participants.

4.3.2. Procedures

The present study is part of a larger research project that aimed to investigate the effects of sleep restriction and altered sleep timing on energy balance (McNeil et al., 2016; McNeil, Forest, Hintze, Brunet, Finlayson, et al., 2017). In summary, three experimental conditions were part of a randomized crossover study: a control condition (usual bedtime and wake time), a 50% sleep restriction condition with usual bedtime but advanced wake time, and a 50% sleep restriction condition with a delayed bedtime and usual wake time. The usual bedtimes and wake times were based on two weeks of sleep monitoring with an accelerometer and sleep diaries. The

three experimental conditions were completed by participants in random order, and at least 7 days separated each condition.

4.3.2.1. Preliminary session.

Before the first experimental condition, all participants had a preliminary meeting, followed by a habituation night in the laboratory. For this first meeting, they arrived at the lab at 8AM after a 12h overnight fast. Anthropometric measurements were taken. Then, during a 15-minute breakfast period, participants were offered whole-wheat toast, strawberry jam, peanut butter, cheddar cheese and orange juice (see McNeil et al. (2016) for more details). They could eat as much or as little of these food items as they wanted. The amount consumed was measured and the same quantity of each food item consumed were then given as a standard breakfast to each participant following each experimental night. During this same preliminary session, participants also completed the NEO Personality Inventory-3 (NEO-PI-3) Questionnaire, the Sensitivity to Punishment and Sensitivity to Reward Questionnaire (SPSRQ), and the Implicit Association Test (IAT). Following the habituation night in the lab, all participants were given an accelerometer and a sleep diary to measure habitual sleep-wake patterns under free-living conditions for 2 consecutive weeks.

The *NEO-PI-3* is a personality test consisting of 240 statements divided into five dimensions (Neuroticism, Extraversion, Openness, Agreeableness, Conscientiousness), which are divided into six facets of different personality traits (McCrae et al., 2005). The Impulsiveness and Sensation-seeking facets T scores were analyzed, since they have been previously associated with risk-taking behaviors (Nicholson et al., 2005; Young et al., 2012; Zuckerman & Kuhlman, 2000).

The *Sensitivity to Punishment and Sensitivity to Reward Questionnaire* (SPSRQ) measures traits associated with an increased sense of reward or punishment in response to different items or feelings (e.g. money, popularity, social shyness; Torrubia et al., 2001). This questionnaire consists of 35 questions divided into two scales: (1) Sensitivity to Punishment, and (2) Sensitivity to Reward. The Sensitivity to Reward scale total score was used in the present analyses.

The *Implicit Association Test* (IAT) is a computer task that measures the implicit relationship or the strength of associations between concepts (e.g. fruits, fatty food) and attributes (e.g. good, bad) (Greenwald et al., 1998). This task is based on the cognitive theory that reaction times are faster when two closely related concepts are categorized using the same response key than when two concepts who are weakly associated have to be categorized using the same response key (Greenwald & Krieger, 2006). The IAT used in the present study was constructed in order to measure the magnitude of each participant's implicit attitudes toward the concepts of “healthy” and “unhealthy” foods (Lane et al., 2007). The target stimuli used in the task were 30 food images (15 “healthy” food images and 15 “unhealthy” food images) chosen from a validated food image database (Blechert et al., 2014) and clearly judged for their “healthy” and “unhealthy” quality by 40 independent judges. The attributes used in the task were “positive” (joy, love, peace, wonderful, pleasure, laughing, happy, happiness, victory, glory) and “negative” (pain, horrible, terrible, miserable, evil, atrocious, failure, suffering, hate, bad) words (Lane et al., 2007). As instructed by Lane et al. (2007), the IAT was separated into seven parts (see **Figure 1**). In the first part, the participants had to sort the images of food into the “healthy” (e.g. salad, apple, etc.) and “unhealthy” (e.g. cake, donut, etc.) categories using the “A” keyboard key for the healthy food images and the “L” keyboard key for the unhealthy food

images. In the second part, participants had to sort the attributes, i.e., positive and negative words, using “A” for the positive word (which is the same keyboard as the healthy food images in part 1) and the “L” keyboard for the negative word (which is the same keyboard as the unhealthy food images in part 1). In the third and fourth parts, the categories were combined. Participants had to sort both "healthy" food images and positive words using the “A” keyboard key and sort both the “unhealthy” food images and negative words using the “L” keyboard key. During the fifth part, participants had to sort only images of “healthy” and “unhealthy” foods, but this time, the keys were reversed. This part allowed the participants to practice with the reverse sorting keys. During the final sixth and seventh parts, the categories were also combined, and participants had to use the reversed sorting keyboards, but only for the food concepts. Consequently, the “unhealthy” food images and positive words were sorted using the “A” key and the “healthy” food images and negative words were sorted using the “L” key.

The reaction times when the categories were combined (parts 2, 3, 6 and 7 identified as the “critical pairing” in **Figure 1**) were used in order to calculate the D score, using the algorithm proposed by Greenwald et al. (2003). The D score reflects the implicit bias towards food: the more negative the score, the greater the positive bias towards healthy foods as opposed to a negative bias towards unhealthy foods, and a score of zero is equivalent to having no bias (Greenwald et al., 2003; Lane et al., 2007). The favoritism and negativism scores were also computed. These scores allow us to separate the positive and negative values that participants associate with each food item. The favoritism score only takes into account reaction times from sorting *positive* words with either “healthy” or “unhealthy” food images. Thus, a negative favoritism score represents a favorable bias towards “healthy” foods, whereas a positive favoritism score represents a favorable bias towards “unhealthy” foods. In the same way, the

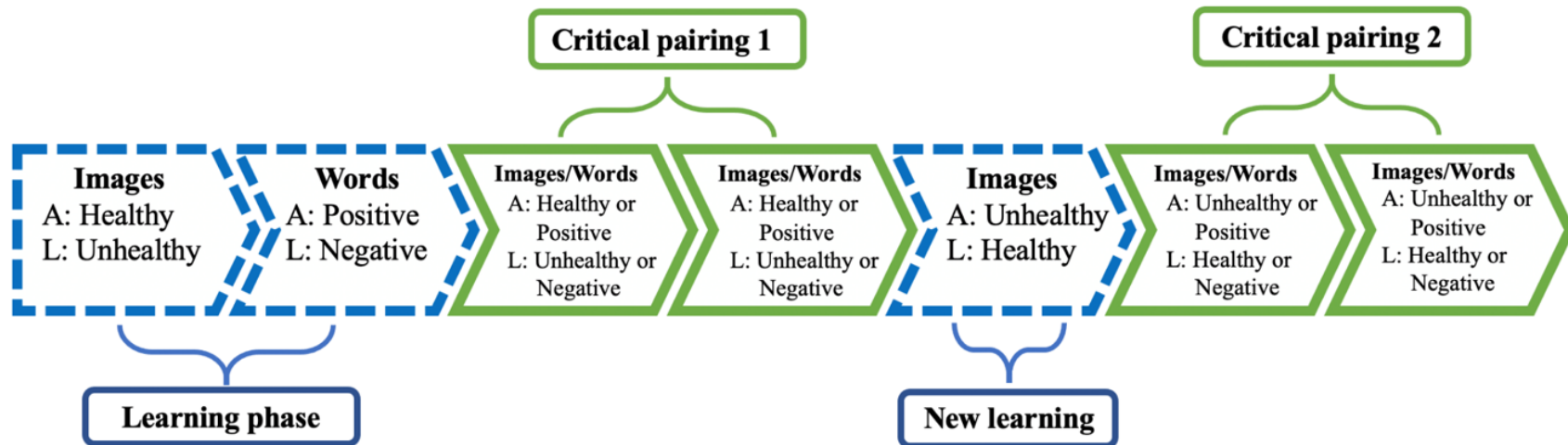
negativism score only takes into account reaction times from sorting *negative* words with either “healthy” or “unhealthy” food images. Consequently, a negative negativism score represents an unfavorable bias towards “healthy” foods, whereas a positive negativism score represents an unfavorable bias towards “unhealthy” foods.

4.3.2.2. Experimental conditions.

For each experimental condition, participants arrived three hours before their usual bedtime to set up the electrodes for the polysomnography recording. Participants were asked to abstain from alcohol and exercise for at least 24h, and from caffeinated products after 12PM (noon) prior to each experimental condition. Sleep was measured using EEG (C3, C4, O1, O2, F3 and F4), EMG (bipolar submental), and EOG on a Medipalm 22 with the Pursuit Advanced Sleep Software (Braebon Medical Corporation, Kanata, Ontario, Canada). Polysomnography recordings were scored independently by 2 judges according to the AASM (American Association of Sleep Medicine, 2007 AASM; Berry et al., 2012) criteria using 30-s epochs; discrepancies were resolved by mutual agreement.

Figure 1

Seven-part sequence of the Implicit Association Task.



Note. This sequence was built according to the specifications presented in Lane, Banaji, Nosek, & Greenwald, 2007. In the critical blocks, for each trial, an image or a word is presented, and the participant must categorize this image or word as quickly as possible using the appropriate answer key for that block (A or L). The image/word is presented in the center of the computer screen. During each trial, reminders for the appropriate keyboard keys appeared at the top left and right for “A” and “L”, respectively.

EI was measured following each experimental condition according to a previously described standardized protocol (McNeil et al., 2016; McNeil et al., 2012). After eating the standardized breakfast established at the preliminary session, participants had to choose from a validated food menu (a list of 62 items) the items that they may want to consume (*ad libitum*) for the present and following days. The food items were prepared, weighed and packed for participants to bring home with them. After 36 hours, participants were asked to bring back the leftover items, empty wrappers, and containers. For the present study, total energy and macronutrient intakes (kcal) consumed for the first 24-hour period following each condition were computed using the Food Processor SQL software (version 9.6.2; ESHA Research). Changes in total energy and macronutrient intakes were calculated by subtracting the EI after each sleep restriction condition from the EI after the control condition (ΔEI).

4.3.3. Data analysis

Results for the changes in sleep and EI parameters between conditions are presented in McNeil et al. (2016). A short summary of these results is presented hereafter. We then conducted paired-sample t-tests to compare changes in total energy and macronutrient intakes between both sleep restriction conditions. Pearson correlations were also calculated between ΔEI , and Excitement seeking trait, Impulsiveness trait, the Sensitivity to Reward score, the IAT *D* score, the IAT Favoritism score, and the IAT Negativism score, for each sleep restriction condition. A two steps hierarchical regression model was conducted afterwards for each sleep restriction condition in order to assess the unique contribution of sensation seeking and the favoritism score from the IAT to ΔEI . To control for sex and age, they were added as covariate in the regression analyses. In addition, ΔREM calculated as total REM sleep duration (in

minutes) during each sleep restriction condition – total REM sleep duration during the control session was also added as a covariate based on evidence that the amount of REM sleep is both associated with EI (McNeil et al., 2016) and risk-taking decisions (Brunet et al., 2020; Goldstein & Walker, 2014). Statistical analyses were performed using SPSS (version 23.0; SPSS Inc., Chicago, IL). All assumptions were considered, and variables were analysed accordingly. Differences with p values $< .05$ were considered statistically significant.

4.4. Results

Descriptive statistics on participants, sleep and EI parameters assessed during each sleep condition are presented in **Tables 1 and 2**, but more details and comparisons analyses are presented in McNeil et al. (2016). Briefly, we previously reported that sleep durations were significantly decreased after both sleep restriction conditions compared to the control condition (McNeil et al., 2016). Also, significant differences in the distribution of sleep stages between both sleep restriction conditions were reported for stages N1, N2 and REM sleep despite similar amounts of total sleep time, results showing more stage N1 and N2, but less REM sleep, in the advanced wake time condition compared to the delayed bedtime condition.

Table 1*Participants characteristics (n = 17)*

	Mean \pm SD	Range
Age (years)	23.5 \pm 3.8	18 to 33
BMI	22.8 \pm 2.7	18.7 to 30.4
NEO-PI-3 (T score)		
Impulsiveness (N5)	47.5 \pm 7.5	36 to 62
Excitement Seeking (E5)	57.2 \pm 7.7	38 to 66
SPSRQ		
Sensitivity to rewards (0-17)	5.8 \pm 2.8	1 to 12
IAT		
D score	-1.23 \pm .20	-1.56 to -.78
Favoritism	-.93 \pm .35	-1.35 to -.29
Negativism	.81 \pm .30	.36 to 1.18

Note. SD, standard deviation; BMI, Body Mass Index; NEO-PI-3, Neuroticism-Extraversion-Openness Personality Inventory-3; SPSRQ, Sensitivity to Punishment and Sensitivity to Reward Questionnaire; IAT, Implicit Association Task.

Table 2*Descriptive statistics: food intake and sleep parameters (n=17)*

	<u>Control</u>	<u>PSD with delayed bedtime</u>	<u>PSD with advanced wake time</u>
	<i>Mean \pm SD</i>	<i>Mean \pm SD</i>	<i>Mean \pm SD</i>
Energy intake (kcal)			
TOTAL	2686.12 \pm 764.57	2843.61 \pm 734.83	2767.57 \pm 824.56
Carbohydrate	1506.70 \pm 442.32	1623.42 \pm 483.19	1544.07 \pm 495.90
Fat	854.38 \pm 304.18	869.70 \pm 237.95	874.17 \pm 313.19
Protein	384.57 \pm 139.17	410.53 \pm 125.63	400.62 \pm 130.13
Sleep parameters			
Sleep efficiency (%)	94.56 \pm 3.57	96.75 \pm 1.81	93.07 \pm 4.51
Sleep duration (min)	462.37 \pm 30.60	236.88 \pm 17.44	229.85 \pm 17.00
N1 (min)	17.86 \pm 9.62	4.41 \pm 2.79	7.08 \pm 3.69
N2 (min)	245.80 \pm 36.31	102.62 \pm 30.74	114.61 \pm 29.00
N3 (min)	89.82 \pm 32.14	79.78 \pm 31.87	74.16 \pm 33.73
REM (min)	108.88 \pm 24.46	50.06 \pm 17.09	33.99 \pm 7.39

Note. PSD, partial sleep deprivation; SD, standard deviation; N1-N3 (min), duration of non-REM sleep stages; REM, rapid eye movement; Sleep efficiency is calculated as [(total sleep time/time in bed)*100].

For the EI parameters, we previously reported no significant difference in 24-hour energy and macronutrient intakes between the control condition and both sleep restriction conditions (McNeil et al., 2016). In addition to these results, the analyses showed that there were no significant differences in Δ EI total, Δ Carbohydrate, Δ Protein and Δ Fat between both sleep

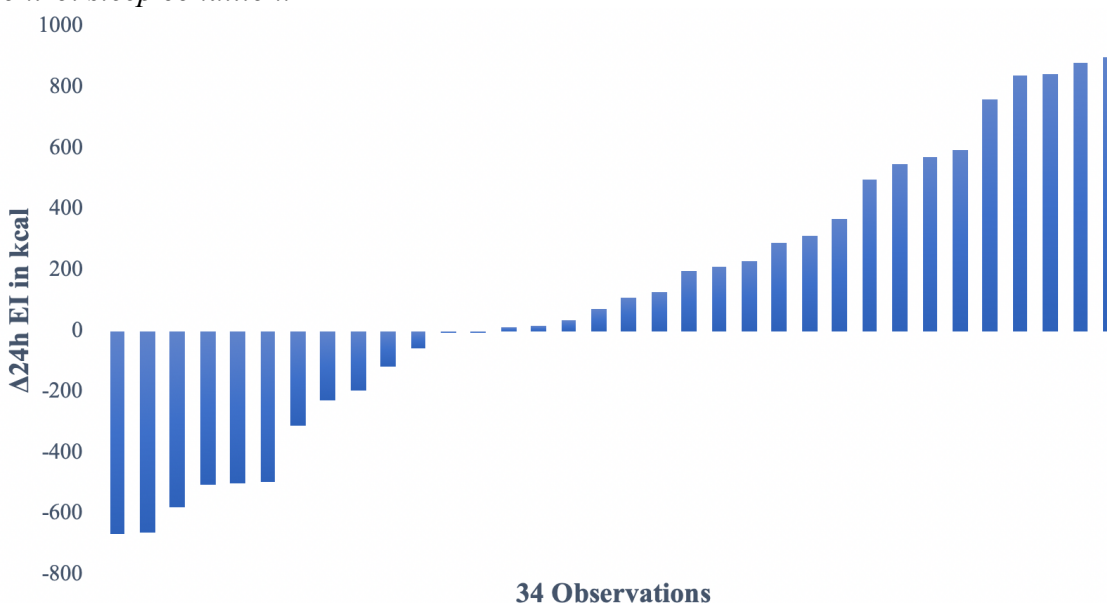
restriction conditions (see **Table 3**). However, large interindividual variations were found between participants, as illustrated in **Figure 2**.

Table 3
Comparison analysis for ΔEI (total EI and macronutrient intake)

	Delayed bedtime Mean \pm SD (<i>range</i>)	Advanced wake time Mean \pm SD (<i>range</i>)	t value	p value
ΔEI (kcal)				
Total	157 \pm 443 (-664 to 880)	81 \pm 486 (-669 to 899)	-.59	<i>p</i> = .57
Carbohydrate	116 \pm 325 (-466 to 572)	37 \pm 313 (-603 to 550)	-.98	<i>p</i> = .34
Fat	15 \pm 198 (-352 to 280)	20 \pm 196 (-326 to 419)	.09	<i>p</i> = .93
Protein	26 \pm 72 (-105 to 173)	16 \pm 70 (-132 to 129)	-.60	<i>p</i> = .56

Note. ΔEI , change in energy intake on 24h between a sleep restriction session and a control session.

Figure 2
Distribution of changes in energy intake (ΔEI) after a 50% sleep restriction compared to after a control sleep condition.



Note. ΔEI was calculated by subtracting the energy intake during the following 24 hours after each sleep restriction condition from the energy intake during the following 24 hours during the control sleep condition. Since 17 participants completed both sleep restriction conditions, 34 observations were compiled.

Pearson correlations are presented in **Table 4**. Results show that Excitement seeking is significantly and negatively associated with Δ Carbohydrate in the delayed bedtime condition, and with Δ EI, Δ Carbohydrate and Δ Fat in the advance wake time condition. Results also showed that Favoritism is significantly and positively associated with Δ EI and Δ Protein in the advanced wake time condition.

Table 4
Correlations between Δ EI, and personality and implicit attitudes for the Delayed bedtime and Advanced wake time sleep conditions.

	<u>Delayed bedtime ΔEI</u>				<u>Advanced wake time ΔEI</u>			
	Total	Carbohydrate	Fat	Protein	Total	Carbohydrate	Fat	Protein
NEO-PI-3								
Impulsiveness (N5)	.03	-.12	.15	.23	.20	.09	.27	.25
Excitement Seeking (E5)	-.47	-.51*	-.14	-.26	-.71**	-.63**	-.65**	-.42
SPSRQ								
Sensitivity to reward	-.02	.01	-.01	-.10	.11	.18	.04	-.03
IAT								
D Score	.13	.20	.07	-.24	.31	.33	.23	-.04
Favoritism	.11	.18	-.05	.28	.52*	.45	.48	.48*
Negativism	-.06	-.10	-.04	-.04	-.31	-.27	-.26	-.21

Notes. Δ EI, change in energy intake on 24h between a sleep restriction session and a control session; Total, total EI in kcal; Fat, fat in kcal; NEO-PI-3, Neuroticism-Extraversion-Openness Personality Inventory-3; SPSRQ, Sensitivity to Punishment and Sensitivity to Reward Questionnaire; IAT, Implicit Association Task; (* $p < .05$, ** $p < .01$)

Two steps hierarchical regression model for each sleep restriction condition are presented in **Table 5**. For the delayed bedtime condition, the models were not statistically significant. However, using semi-partial correlations, Excitement seeking was a significant predictor, explaining 44% of the variance in total Δ EI ($r = -.66, p = .01$). Sex was also a significant predictor, explaining 24% of the variance in total Δ EI ($r = .49, p = .042$), where being a woman was partially associated with a greater tendency to increase their EI. For the advanced wake time condition, the final model explained 56% of the variance in Δ EI total ($p = .011$) with Favoritism and Excitement seeking being two statistically significant predictors.

Table 5

Results from two-step hierarchical regression models presenting the unique contribution of personality and implicit attitudes to Δ EI for both sleep restriction conditions.

	<u>Delayed bedtime</u>					<u>Advance wake time</u>				
	β	95% CI	SE	SPCC	<i>p</i> value	β	95% CI	SE	SPCC	<i>p</i> value
Step 1										
Age	.20	[-48.82, 96.11]	33.54	.19	.49	.17	[-52.71, 92.78]	33.67	.15	.56
Gender	.16	[-420.66, 716.60]	263.21	.15	.58	-.31	[-868.94, 256.69]	260.52	-.29	.26
Δ REM	.09	[-13.491, 18.05]	7.30	.08	.76	-.30	[-18.37, 5.30]	5.48	-.29	.25
(R_a^2 , <i>p</i> value)	$(R_a^2 = -.15, p = .84)$					$(R_a^2 = .02, p = .37)$				
Step 2										
Age	.28	[-27.32, 92.99]	27.33	.26	.26	.08	[-40.36, 61.32]	23.10	.08	.66
Gender	.72	[27.68, 1264.04]	280.86	.49	.042	-.20	[-713.47, 323.11]	235.48	-.14	.43
Δ REM	.06	[-11.33, 14.59]	5.89	.06	.79	-.11	[-10.78, 6.00]	3.81	-.10	.54
IAT Favoritism	-.29	[-1053.46, 348.17]	318.41	-.24	.29	.46	[42.26, 1217.70]	267.03	.39	.038
Excitement seeking	-.86	[-84.05, -14.27]	15.85	-.66	.01	-.49	[-61.30, -.62]	13.79	-.37	.046
(R_a^2 , <i>p</i> value)	$(R_a^2 = .27, p = .13)$					$(R_a^2 = .56, p = .01)$				

Notes. EI, energy intake; IAT, implicit association task, Δ REM, difference in REM sleep duration between a sleep restriction condition and a control condition, CI, confidence interval; SE, standard error; SPCC, semi-partial correlation coefficient.

4.5. Discussion

This study is one of the first to explore the associations between personality traits associated to a tendency to take risks and implicit attitudes towards food with changes in EI following sleep restriction with altered sleep timing. Despite no changes in overall EI after both sleep restriction conditions, large interindividual variations were observed between participants in the amount of EI after sleep loss, as shown in previous studies (Klingenberg et al., 2012; McNeil & St-Onge, 2017; Nedeltcheva et al., 2009). Some participants had higher EI following sleep restrictions, whereas others had a decrease in EI following sleep restriction. Our results suggest that some of these differences in EI change following sleep restriction could be partially attributed to certain personality traits and implicit attitudes toward food. Indeed, the sensation seeking personality trait was negatively associated with EI after sleep loss. However, contrary to what was hypothesized, our results showed that a *lower* level of sensation seeking behavior was associated with an *increased* EI following sleep loss. While a high level of sensation seeking has been associated with extreme (and riskier) sports (Guszkowska & Bołdak, 2010), with greater energy expenditure, and more physical activity in adolescents and adults (Minkwitz et al., 2016; Wilkinson et al., 2013), a lower sensation seeking has been associated with less physical activity and more sedentary time (Wilkinson et al., 2013). In addition to this, an interaction between sedentary lifestyle and short sleep duration has been identified as an important risk factor for weight gain and obesity (Must & Parisi, 2009). Therefore, our results could suggest that people with low levels of sensation seeking have a tendency to be more sedentary and more incline to increase their food intake in a sleep deprived situation. Furthermore, we noted that participants with a lower level of excitement seeking behavior had a tendency to choose more palatable foods (rich in fat and carbohydrate). This is in accordance with a recent metanalysis showing

increases in fat and sometimes carbohydrate intakes after sleep loss (Al Khatib et al., 2017), and in accordance with a literature review showing a relationship between a sedentary lifestyle and an unhealthy diet (less fruits and vegetables, more high-calorie foods; see Pearson & Biddle, 2011).

Our results also suggest that implicit attitudes toward healthy and unhealthy foods are associated with changes in EI following sleep loss. More specifically, in the advanced wake time condition, favoritism was significantly associated with EI, suggesting that a greater positive attitude toward unhealthy foods was associated with increased EI following sleep loss. Conversely, the IAT *D* score and negativism were not significant predictors of Δ EI. The IAT measures the strength of the associations between concepts (healthy vs unhealthy) and attributes (positive and negative words) (Greenwald & Krieger, 2006), and different measures can be extracted from this task. Lane et al. (2007) argues that normally it is the *D* score that best predicts behavior. However, our study suggests that the key element predicting an increase in EI after sleep loss is the “positive” value given to “healthy” and “unhealthy” foods, and not the “negative” value (negativism) or the interaction between the two (*D* score). These results are consistent with the “personal food system” component of the Sobal Conceptual Model of Food Choice Process (2006). The personal food system refers to the mental processes that are involved in food choices. According to this model, when making food choices, we assign a certain value to the different food options, which is determined by a wide variety of factors such as health, taste, and cost (Sobal et al., 2006). However, these factors are also shaped by experiences accumulated throughout life, education and by everyday influences such as social contexts, personal goals and financial resources (Sobal et al., 2006). Therefore, the mental constructs that lead to food choices include intrinsic individual characteristics and personal

beliefs about food. According to Sobal et al. (2006), when people choose to consume specific food items, it's because the "good" outweigh the "bad" once all of the abovementioned factors have been taken into account (Pérez-Villarreal et al., 2019; Sobal et al., 2006). Our study shows that when sleep deprived, the implicit tendency to grant a positive value to unhealthy food predicts an increase in EI.

On the other hand, the favoritism score was a significant predictor of Δ EI and Δ Protein, but only in the advanced wake time condition. These results could potentially be explained by the alterations in sleep architecture caused by the reduction in sleep duration and the timing of the sleep opportunity. Indeed, the advanced wake time condition has a normal onset of sleep, but with an earlier wake time, which causes a marked decrease in REM sleep (Goldstein & Walker, 2014). We have shown in a previous study that Δ REM sleep duration is associated with more riskier decisions following both sleep restriction conditions (Brunet et al., 2020). However, in the present study, changes in REM sleep duration did not contribute to the changes observed in EI after sleep loss. Given the strong associations between EI mechanisms and sleep processes, further analyses are needed to corroborate and complement our findings.

Finally, being a woman was partially associated with an increase EI in the delayed bedtime condition, but not the advanced wake time condition. Studies that have looked at sex differences in the association between sleep deprivation and EI have reported mixed results, with some reporting a marked increase in EI for men and others for women (Bayon et al., 2014). The present findings are exploratory since there were only six women in our sample.

In conclusion, interindividual factors such as personality traits (p. ex. sensation seeking) and implicit attitudes towards food partially explain the changes in EI following sleep loss. Although it is known that chronic sleep deprivation is an important risk factor for the occurrence

and maintenance of weight gain and obesity (Al Khatib et al., 2017), results of this study highlight some of the psychological factors which could be associated with interindividual variations in EI following sleep loss. Intervention studies should assess some of these important personality traits and implicit attitudes towards foods when designing and customizing interventions focused on sleep and/or obesity management.

4.6. Acknowledgements

The authors would like to thank the participants for their involvement in this study. The authors would also like to thank Isabelle Chaumont, Émilie Langlois, Riley Maitland and Alexandre Riopel for their involvement in data collection.

CHAPITRE V

Discussion

Cet essai doctoral a été effectué dans le cadre d'un projet de plus grande envergure qui avait pour but d'explorer l'impact d'une restriction de 50% du sommeil, ainsi que le moment du sommeil, sur la balance énergétique (la nourriture/énergie consommée (kcal) versus l'énergie dépensée). Le présent projet vise plus particulièrement à déterminer l'influence des caractéristiques interindividuelles et des processus mentaux dans l'impact d'un manque de sommeil sur la prise alimentaire. En effet, bien qu'il soit connu depuis plusieurs années que le manque de sommeil est généralement associé à une augmentation de l'énergie consommée, plusieurs études montrent qu'il existe une grande variabilité interindividuelle, suggérant que des facteurs propres aux individus peuvent moduler cet effet. En d'autres mots, certaines personnes seraient plus enclines à consommer davantage en situation de manque de sommeil que d'autres.

La revue de littérature a permis de soulever l'**hypothèse générale** qu'à la suite d'une privation partielle de sommeil, le contrôle exécutif exercé par les lobes préfrontaux serait amoindri et conséquemment, les processus automatiques influenceraient davantage les comportements, ce qui se traduirait par une tendance à prendre des décisions plus risquées et davantage influencées par des caractéristiques individuelles telles des traits de personnalité et des attitudes implicites. Ceci aurait ainsi pour effet de moduler la prise alimentaire de façon telle que certaines personnes vont consommer davantage, d'autres moins et d'autres n'apporteront pas de changement suite au manque de sommeil. Toutefois, le moment de la privation de sommeil aurait également un impact sur ces changements. Plus précisément, une plus grande diminution dans la quantité de sommeil paradoxal lors de la condition « lève-tôt », ainsi qu'une forte

tendance à présenter des traits de personnalité généralement liés à la prise de risque (impulsivité, recherche de sensations) seraient associées à davantage de décisions risquées (**Hypothèse spécifique #1**). De plus, une forte tendance à présenter des caractéristiques généralement associées à la prise de risque (traits de personnalités spécifiques et une forte sensibilité à la récompense) serait associée à une plus grande augmentation de la prise alimentaire (**Hypothèse spécifique #2**). Finalement, un biais implicite plus négatif envers les aliments catégorisés « santé » et plus positif envers les aliments « pas santé » (sucrés et gras) serait également associé à une plus grande augmentation de la prise alimentaire (**Hypothèse spécifique #3**). Les hypothèses ont été testées à l'aide d'un protocole de recherche mixte rigoureux impliquant des conditions expérimentales croisées.

Tout d'abord, nos résultats montrent qu'en regard de la prise de décision, lorsque les participants sont en situation de manque de sommeil, ils font des choix plus risqués dans des conditions d'incertitude. Nos résultats appuient par ailleurs le rôle important du sommeil paradoxal, alors qu'une courte durée et qu'une plus grande diminution de ce stade de sommeil lors des conditions expérimentales était associée à une augmentation des décisions plus risquées lors de la tâche. L'impulsivité semble également être un facteur important lors de la prise de décision puisque plus elle est élevée chez une personne, plus les décisions sont risquées, et ce, après une nuit de sommeil « normale ». En outre, lorsque l'on s'attarde plus particulièrement à la prise alimentaire, malgré qu'aucune augmentation n'ait été observée dans la prise alimentaire suite aux deux conditions expérimentales, nos résultats confirment la présence d'une grande variabilité interindividuelle dans celle-ci. Parmi les facteurs pouvant expliquer cette variation interindividuelle, nous avons montré qu'en situation de manque de sommeil, plus une personne présentait un faible niveau de recherche de sensation (trait de personnalité) et plus cette personne

présentait du favoritisme implicite envers la nourriture « peu santé », plus il y avait une augmentation de la prise alimentaire, surtout en aliments gras et sucrés. Certains effets semblent par ailleurs particulièrement présents suivant la perte de la dernière partie de la nuit. Ces résultats sont discutés plus en détail dans les prochaines sections.

5.1. Le sommeil paradoxal et la prise de risque

Nos premiers résultats ont permis de mettre lumière l'impact d'un manque de sommeil sur la prise de décision, ainsi que les facteurs interindividuels pouvant l'influencer. En ce sens, notre première hypothèse spécifique s'est confirmée. En effet, nos résultats appuient le fait que la quantité de sommeil paradoxal, ainsi que la personnalité (trait d'impulsivité) sont d'importants facteurs à considérer lorsqu'on s'intéresse au processus de prise de décision. Entre autres, le manque de sommeil, plus particulièrement la diminution du sommeil paradoxal, semble avoir un impact négatif important sur les performances en augmentant les choix plus risqués, ce qui était attendu considérant l'importance du sommeil paradoxal pour maintenir et réinitialiser le fonctionnement des lobes préfrontaux (Goldstein & Walker, 2014). Considérant la nature de l'IGT, il n'est pas étonnant de retrouver une association entre la performance à la tâche et la quantité de sommeil paradoxal, car ces deux éléments impliquent les mêmes systèmes et structures cérébrales (Killgore et al., 2006; Kovács et al., 2017). L'IGT est une tâche utilisée en neuropsychologie afin d'évaluer la prise de décision en contexte d'incertitude dans des cas où une lésion ou une altération du fonctionnement du cortex préfrontal (c.-à-d. le fonctionnement exécutif) est suspectée (Gansler et al., 2011; Lawrence et al., 2009). Ainsi, à cette tâche, des performances plus impulsives et associées à un déficit dans les mécanismes de prise de décision ont été retrouvées chez des gens présentant une lésion du cortex préfrontal ventromédian,

dorsolatéral et orbitofrontal latéral, ainsi que dans plusieurs contextes psychiatriques, dont le jeu pathologique et le trouble d'usage de l'alcool (Bechara et al., 1994; Kovács et al., 2017; Lawrence et al., 2009). Or, depuis déjà plusieurs années, les études montrent que les lobes préfrontaux sont particulièrement sensibles au manque de sommeil (Womack et al., 2013). De plus, des déficits à cette tâche ont également été retrouvés en contexte de privation de sommeil et les résultats étaient comparables à ceux obtenus par des individus présentant une lésion du cortex préfrontal ventromédian (Killgore et al., 2006).

Par ailleurs, les études en neuroimagerie ont soulevé que le cortex préfrontal ventromédian serait particulièrement impliqué dans l'évaluation des récompenses et des pertes potentielles lors de la prise de décision et dans la gestion des émotions par ses interactions (modulation et inhibition) avec des structures cérébrales du système dopaminergique de la récompense et du système limbique tel que le striatum et l'amygdale (Hiser & Koenigs, 2018). Or, certains auteurs suggèrent qu'une diminution ou perturbation du sommeil paradoxal affecterait la connexion fonctionnelle entre ces structures et le cortex préfrontal, affectant la gestion des émotions et l'analyse des récompenses et des punitions, impactant ainsi la prise de décisions (Goldstein & Walker, 2014; Gujar et al., 2011). À cet effet, Van Der Helm et al. (2011) ont montré qu'après une période d'éveil de 12h, la connexion fonctionnelle entre le cortex préfrontal médian (rôle inhibiteur) et l'amygdale est diminuée, résultant en une plus forte activation de l'amygdale face à des stimuli à valence émotionnelle. Toutefois, à l'inverse, ils montrent qu'une nuit de sommeil a pour effet de diminuer l'activation de l'amygdale en améliorant la connexion fonctionnelle avec le cortex préfrontal médian de manière proportionnelle à la qualité du sommeil paradoxal. Nos résultats montrent que la diminution du sommeil paradoxal est associée à l'augmentation des choix plus risqués en situation d'incertitude. Ainsi, notre étude semble corroborer l'importance

du sommeil paradoxal dans les mécanismes de prise de décision, mais semble appuyer également un effet potentiel « proportionnel » de ce stade de sommeil sur la prise de décision.

Par ailleurs, nos résultats soutiennent que l'impulsivité, en tant que trait de personnalité, est associée à des choix plus risqués, mais seulement après une nuit normale de sommeil.

Considérant que le lien entre l'impulsivité et la prise de risque est retrouvé dans la littérature depuis plusieurs années (Young et al., 2012; Zuckerman & Kuhlman, 2000), il n'est alors pas étonnant que ce trait spécifique ressorte dans nos résultats. Toutefois, pour la session lève-tôt, l'absence d'association suggère que ce trait de personnalité aurait un impact différent sur les comportements en fonction du type de déficit de sommeil. Néanmoins, rappelons que cette étude n'impliquait qu'une seule nuit par condition et que des effets différents pourraient s'observer avec plus d'une nuit de privations. Somme toute, tel que mentionné précédemment, les écrits scientifiques soutiennent que le manque de sommeil a un impact sur les processus de prise de décision, les individus prenant des décisions plus risquées lorsqu'ils sont privés de sommeil (Goldstein & Walker, 2014; Gujar et al., 2011). De plus, en raison de la diminution du contrôle exécutif des lobes frontaux (Goldstein & Walker, 2014), les décisions peuvent être davantage influencées par des processus plus automatiques comme les attitudes implicites (Eschenbeck et al., 2016; Schneider & Chein, 2003). Il est donc possible qu'une caractéristique individuelle qui était associée à un comportement après une nuit normale, ne le soit pas nécessairement après une privation de sommeil et vice-versa. À ce titre, plusieurs études ont montré que certains traits de personnalité peuvent prédire une performance cognitive en situation de manque de sommeil, mais pas nécessaire après une nuit normale (Carlozzi et al., 2010; Killgore et al., 2007; Taylor & McFatter, 2003). Ainsi, nos résultats suggèrent que le trait d'impulsivité guiderait davantage la prise de décision après une nuit normale, mais que d'autres caractéristiques (p. ex. d'autres traits

de personnalité, autres caractéristiques psychologiques ou cognitives) pourraient influencer les choix en situation de manque de sommeil.

5.2. La personnalité et la prise alimentaire

Lorsque l'on considère l'apport énergétique en situation de manque de sommeil, nos résultats ont permis de soulever l'importance de considérer la personnalité (trait de recherche de sensation) pour expliquer la variabilité interindividuelle dans l'impact d'un manque de sommeil. Toutefois, parmi les caractéristiques généralement associées à la prise de risque, seule la recherche de sensations, une facette de l'extraversion, était associée à la prise alimentaire dans notre échantillon, et ce, dans le sens inverse de ce qui était prédit. Une des hypothèses que l'on propose pour expliquer ces résultats repose sur des études ayant montré d'un côté un lien entre la suralimentation et la sédentarité (Chaput et al., 2011; Thorp et al., 2011) et de l'autre, un lien entre la motivation, les activités sédentaires et un faible niveau d'extraversion, dont la recherche de sensation est une facette (Axelsson et al., 2020; Burnett et al., 2018; Massar et al., 2019). Ainsi, il est possible de penser que suite à la privation de sommeil, les personnes ayant un faible niveau de recherche de sensations aient tendance à adopter des comportements davantage sédentaires en limitant leurs activités physiques et à être plus enclines à augmenter leur consommation de nourriture. De plus, lorsqu'on s'intéresse aux effets de la privation de sommeil sur la motivation, plusieurs études soulignent que le niveau de somnolence qui découle du manque de sommeil serait associé à une faible motivation à s'engager et à investir des efforts dans des activités (Axelsson et al., 2020; Massar et al., 2019). Les personnes avec un faible niveau de recherche de sensations pourraient être plus sensibles à cet effet sur la motivation et ainsi être moins tentées de s'engager dans des activités variées et intenses en situation de manque

de sommeil, et favoriseraient plutôt des activités plus sédentaires (p.ex. écouter la télévision, jouer à des jeux vidéo, lire) tout en augmentant leur apport énergétique. D'ailleurs, une personnalité moins extravertie a été associée à un style de vie plus sédentaire (Burnett et al., 2018), ce qui est considéré comme un facteur de risque pour le surpoids et l'obésité (Pearson & Biddle, 2011; Thorp et al., 2011). Une revue de littérature se concentrant sur des études longitudinales soulève notamment que le temps passé à faire des activités sédentaires durant l'enfance est associé à un risque accru de surpoids et d'obésité à l'âge adulte (Thorp et al., 2011). Dans une autre revue de littérature, Pearson and Biddle (2011) soulèvent aussi que le temps passé à faire des activités sédentaires était directement associé à des habitudes alimentaires qui seraient considérées peu santé (c.-à-d., une consommation de moins de fruits et légumes, et de plus d'aliments denses en calories). Ce serait d'ailleurs une combinaison entre une augmentation de l'apport énergétique et une diminution de la dépense énergétique associée aux activités sédentaires qui occasionnerait le gain le poids (Chaput et al., 2011). Bien que ces explications soient intéressantes pour nos résultats, il serait tout de même important de préciser que notre échantillon composé de jeunes adultes en santé avec de bonnes habitudes de vie et des résultats différents pourraient être retrouvés dans une population clinique par exemple. Il serait alors important que des études similaires soient effectuées avec d'autres populations (p. ex. différente tranche d'âge, trouble alimentaire, restriction chronique de sommeil, etc.).

D'autre part, lorsqu'on regarde la littérature pour dresser une image plus globale de la recherche de sensations, mais également, plus largement, du domaine d'extraversion en lien avec le poids et les habitudes alimentaires, les résultats sont plutôt mitigés. En effet, selon une revue de littérature de Sutin and Terracciano (2017), en ce qui a trait à l'IMC et la gestion du poids, un haut niveau d'extraversion est parfois associé à un IMC plus élevé ou à un gain poids, alors que

d'autres études n'ont pas d'effet significatif. Plus spécifiquement, la recherche de sensation est souvent étudiée dans le domaine de la dépendance alimentaire et présente des résultats similaires à l'extraversion (c.-à-d. un IMC plus élevé ou un gain de poids) (Fink et al., 2010; Murphy et al., 2014; Wang et al., 2017). Dans d'autres études, un haut niveau d'extraversion et de recherche de sensations aurait été associé à une diète plus santé et à une plus grande activité physique, deux facteurs importants de la balance énergétique (Minkwitz et al., 2016; Sutin & Terracciano, 2017). Ainsi, il ne semble pas y avoir de consensus clair sur la nature de l'impact de la recherche de sensations sur la gestion du poids. Ceci soulève l'importance d'investiguer davantage l'impact de ce trait de personnalité dans l'effet d'un manque de sommeil sur la prise alimentaire.

En ce qui concerne les macronutriments, nos résultats suggèrent que les personnes présentant une faible recherche de sensations auraient tendance à consommer davantage d'aliments riches en lipides et en glucides dans des situations de privation de sommeil, ce qui concorde avec ce qui est retrouvé généralement dans les écrits scientifiques. Notamment, une récente méta-analyse sur l'effet d'une privation partielle de sommeil constate une augmentation plus importante de l'apport énergétique en lipides et parfois en glucides au détriment des protéines (Al Khatib et al., 2017). D'ailleurs, de manière plus générale, plusieurs études ont montré que le manque de sommeil entraînait une augmentation plus importante des aliments plus palatables, c'est-à-dire des aliments gras et sucrés (Al Khatib et al., 2017; Chan, 2018; Nedeltcheva et al., 2009). Une explication possible de nos résultats pourrait résider dans l'hypothèse de l'implication du système de récompense. En effet, les aliments plus palatables activeraient davantage le système de récompense, ce qui aurait pour effet de promouvoir la consommation de ce type d'aliments (Alonso-Alonso et al., 2015; Stice et al., 2010). Toutefois, en situation de manque de sommeil, tel que mentionné précédemment, la connectivité

fonctionnelle entre les lobes préfrontaux et le système dopaminergique de la récompense est amoindrie, ce qui se traduit par des comportements influencés par les récompenses (Gujar et al., 2011). En effet, des études ont soulevé que la restriction de sommeil entraînait des modifications de l'activité cérébrale dans des structures associées au système de récompense (Greer et al., 2013; St-Onge et al., 2014; St-Onge et al., 2012). Les personnes manifesteraient un plus grand désir pour les aliments riches en calories et les jugeraient plus appétissants en situation de manque de sommeil comparativement à une durée de sommeil habituelle (Benedict et al., 2012; Greer et al., 2013). En d'autres mots, en situation de manque de sommeil, les personnes seraient davantage motivées (plus de « désir ») à consommer des aliments plaisants (Nicola, 2016; Robinson et al., 2015). Ainsi, considérant l'importance du sommeil paradoxal pour rétablir et maintenir la connectivité fonctionnelle entre les lobes préfrontaux et les structures du système de la récompense (Goldstein & Walker, 2014; Gujar et al., 2011), il est fort possible que la condition lève-tôt ait favorisé davantage une modification de la prise alimentaire en situation de manque de sommeil pour une nourriture plus grasse et sucrée. Des études futures mesurant directement le lien entre la privation de sommeil paradoxal, l'activité du système de récompense et l'apport en glucides et lipides sont toutefois nécessaires afin de valider cette hypothèse.

Par ailleurs, comme nous avons vu précédemment, une augmentation de la ghréline et une diminution de la leptine sont généralement notées après une privation de sommeil, ce qui a pour effet d'augmenter l'appétit et de diminuer le sentiment subjectif de satiété (Broussard et al., 2016; Magee et al., 2009). Or, des études ont montré un lien entre la ghréline et certains traits de personnalité tel que l'impulsivité, la sensibilité à la récompense et la recherche de sensations (Hansson et al., 2012; Ralevski et al., 2018), trois caractéristiques à l'étude chez nos participants, dont la recherche de sensations était significativement associée à l'apport énergétique suivant la

restriction de sommeil. Ainsi, il serait intéressant que les études futures incluent des mesures hormonales afin de vérifier l'interaction de la ghréline et de la leptine avec ces différentes caractéristiques et la prise alimentaire après une privation de sommeil.

5.3. Les attitudes implicites et la prise alimentaire

Nos résultats permettent de montrer en outre l'importance des attitudes implicites pour expliquer la variabilité interindividuelle dans l'impact d'un manque de sommeil sur la prise alimentaire. Plus précisément, nos résultats révèlent qu'une attitude plus positive envers une nourriture évaluée comme n'étant pas saine ou malsaine est associée à une augmentation de la prise alimentaire suite à la perte de la dernière partie de la nuit.

Le TAI est une tâche qui mesure la force des associations entre des concepts (nourriture saine vs pas saine) et des attributs (mots positifs et négatifs) par l'entremise de temps de réaction (Greenwald & Krieger, 2006). Toutefois, parmi les différentes mesures qui peuvent être extraites de cette tâche, le score *D* et le négativisme n'étaient pas des prédicteurs significatifs des changements dans l'apport énergétique. Ainsi, notre étude suggère que l'élément clé prédisant une augmentation de la consommation alimentaire après la perte de sommeil est la valeur « positive » (favoritisme) donnée à la nourriture « saine » et « pas saine », et non la valeur négative (négativisme) ou l'interaction entre les deux (score *D*). Pourtant, Lane et al. (2007) affirment que le score *D* correspond généralement le mieux aux attitudes explicites en permettant de mieux prédire le comportement. En outre, au-delà de la prédiction du comportement, nos résultats corroborent les effets attendus au niveau des trois scores obtenus avec les participants, ceux-ci présentant un biais nettement positif envers la nourriture « saine » et un biais nettement négatif pour la nourriture « pas saine ». Ceci suggère que le test a bien mesuré les concepts et valences

prévu. D'autres TAI utilisant des construits tels que « bas en calories » vs « haut en calories » présentent des résultats similaires aux nôtres avec une forte tendance à favoriser positivement la nourriture faible en calories au détriment de la nourriture haute en calories (Alkozei et al., 2018; Songa & Russo, 2018). Or, nos résultats suggèrent que l'apport énergétique après la perte de sommeil est prédite par le fait que la personne a tendance à catégoriser avant tout les aliments comme étant « santé » ou « pas santé », en fonction de la qualité positive qu'elle attribue aux aliments. En d'autres mots, à quel point la personne considère la nourriture comme « bonne » pour elle selon l'évaluation qu'elle en fait (p. ex. peu dispendieux et bon au goût). Ainsi, plus une personne considère que la nourriture « pas santé » est « bonne », plus elle augmente sa consommation d'aliments après la perte de sommeil.

Nos résultats s'expliquent par ailleurs élégamment par le modèle conceptuel du choix alimentaire de Sobal and Bisogni (2009). Notamment, « le système personnel » du modèle fait référence aux processus mentaux qui sont impliqués dans les choix alimentaires. Selon ce modèle, lorsque nous faisons des choix alimentaires, nous attribuons une certaine valeur aux différentes options, laquelle est déterminée par une grande variété de facteurs (p. ex. la santé, le goût et le coût). Ces facteurs sont à leur tour façonnés par les expériences de vie et diverses influences présentes au quotidien (p. ex. le contexte social, nos objectifs personnels, nos ressources financières, etc.) (Sobal et al., 2006). Ainsi, le choix final d'un aliment dépend de sa « qualité » selon nos critères personnels (p. ex. il a bon goût, il est bon pour ma santé, il est agréable à manger) (Sobal et al., 2006). Par ailleurs, même lorsque les gens sont conscients que certains aliments sont mauvais pour la santé, lorsqu'ils choisissent de les consommer, ce serait parce que les « bons » aspects l'emportent sur les « mauvais » (Pérez-Villarreal et al., 2019; Sobal et al., 2006). De plus, l'un des points positifs de la nourriture moins santé et plus calorique

est son aspect hédonique, et donc, sa capacité à solliciter le système dopaminergique de la récompense (Alonso-Alonso et al., 2015; de Macedo et al., 2016). Ainsi, il n'est pas surprenant que les aspects positifs de la nourriture « pas santé » (p. ex. plus palatable, facilement accessible, sans préparation) semblent être plus prédictifs d'une tendance à augmenter l'apport énergétique, surtout dans un contexte de perte de sommeil. Ceci cadre également avec ce que nous connaissons des effets de la privation de sommeil sur le fonctionnement cérébral. Tel que mentionné précédemment, lorsque nous manquons de sommeil, les lobes frontaux exercent moins de contrôle et les décisions sont davantage basées sur des processus automatiques, notamment le système de récompense dopaminergique (« plaisir ») qui intervient dans le comportement alimentaire (Alonso-Alonso et al., 2015; de Macedo et al., 2016). De plus, dans les situations de privation de sommeil, les études montrent que si la personne est exposée à un gain potentiel, elle tend à y être plus sensible et à prendre plus de risques que si elle est confrontée à une perte potentielle (McKenna et al., 2007; Venkatraman et al., 2007). On peut alors supposer que l'aspect positif, le gain, aurait plus de poids dans les décisions alimentaires et que, par conséquent, les attitudes positives envers la nourriture auraient une plus grande influence après une privation partielle de sommeil.

Finalement, bien que le score de favoritisme soit un prédicteur significatif pour les changements totaux dans l'apport énergétique, il n'y a pas de tendance claire pour les macronutriments. En effet, les changements dans la consommation de protéines sont significativement associés au favoritisme, mais les associations avec les changements dans la consommation de glucides et de lipides s'approchent du seuil de significativité. Il semble donc qu'une tendance à favoriser davantage la nourriture « pas santé » soit associée à une tendance à manger plus sans prioriser un type particulier d'aliments. Par ailleurs, ceci est vrai seulement

dans la condition lève-tôt, le favoritisme n'expliquant pas les changements dans l'apport énergétique dans la session couche-tard. Ces résultats pourraient potentiellement s'expliquer par la différence dans l'architecture du sommeil entre les deux conditions de restriction de sommeil. En effet, la condition lève-tôt a un début de sommeil normal, mais une heure de réveil plus précoce, ce qui entraîne une diminution marquée du sommeil paradoxal, puisque ce stade de sommeil est prédominant dans la dernière moitié de la nuit (Goldstein & Walker, 2014). Nos résultats soutiennent que la durée du sommeil paradoxal est associée à des choix plus risqués et c'est pour cette raison que nous avons contrôlé pour cette variable dans nos analyses. Cependant, les changements de la durée du sommeil paradoxal n'ont pas contribué aux changements observés dans l'apport énergétique après la restriction de sommeil, ce qui est plutôt surprenant compte tenu du rôle présumé du sommeil paradoxal dans la régulation de certaines voies neurales impliquées dans les processus décisionnels et dans le système de récompense (Goldstein & Walker, 2014; Gujar et al., 2011). Considérant que notre échantillon plutôt restreint limite la puissance statistique, des études futures devraient être réalisées dans le but d'effectuer des analyses plus approfondies afin d'investiguer la relation entre le sommeil paradoxal ou d'autres aspects de la microstructure du sommeil paradoxal et l'apport énergétique au niveau des macronutriments.

5.4. Discussion générale des résultats

En considérant l'ensemble des résultats, nous constatons que l'hypothèse générale du présent essai doctoral est globalement confirmée. En effet, les résultats soutiennent que le manque de sommeil a eu impact sur la prise de décision ce qui suggère que le contrôle exécutif a été amoindri en situation de manque de sommeil et que les décisions étaient davantage

influencées par des caractéristiques individuelles telles que des traits de personnalité et des attitudes envers la nourriture, ce qui nous croyons a contribué à modifier ultimement la prise alimentaire. Nos résultats ouvrent par ailleurs la porte à l'idée qu'il pourrait potentiellement y avoir un « profil » de gens plus susceptibles d'augmenter leur apport énergétique en situation de manque de sommeil.

Tout d'abord, nos résultats soulèvent que les attitudes implicites envers la nourriture feraient partie du « profil » de vulnérabilité et influenceraient davantage les comportements alimentaires lorsque les gens doivent se lever plus tôt qu'à l'habitude. En ce qui a trait à la personnalité, initialement, nous avons proposé que des personnes présentant des caractéristiques généralement associées à la prise de risque augmenteraient leur apport énergétique après une restriction de sommeil. Toutefois, aucune des éléments que nous avons mesurés (l'impulsivité, la recherche de sensation et la sensibilité à la récompense) n'était associée à la variabilité dans l'apport énergétique de manière à suggérer qu'une personne plus encline à prendre des risques dans sa vie de tous les jours soit plus susceptible de consommer davantage en situation de manque de sommeil. Il semblerait donc que des traits liés une tendance à prendre des risques ne soit pas une explication chez nos participants. Considérant le faible échantillon, il serait toutefois nécessaire de répliquer cette étude pour confirmer ceci. Par ailleurs, nos résultats suggèrent, tout de même, que la personnalité pourrait expliquer la variabilité dans l'apport énergétique suivant la restriction de sommeil, soutenant l'idée que la personnalité pourrait tout de même être une idée qui mérite une certaine attention. Ainsi, la recherche de sensation était un élément associé à l'apport énergétique, mais dans le sens inverse de ce qui était attendu. En outre, on ne peut exclure que d'autres traits de personnalité puissent influencer l'apport énergétique. En plus des éléments liés à la prise de risque, une revue de littérature de Sutin and Terracciano (2017)

soulève que les personnes plus consciencieuses présenteraient un IMC plus faible, alors que le névrosisme serait associé à un risque accru de troubles alimentaires et d'obésité. Par ailleurs, des aspects plus spécifiques au domaine de l'alimentation tels que le niveau de néophobie alimentaire (sentiments de peur face à de nouveaux aliments), un trait qui a été inversement associé à la recherche de sensations, influencent directement les choix alimentaires (Eertmans et al., 2005; Pliner & Hobden, 1992). Ainsi, des études futures devraient nécessairement se pencher sur d'autres facteurs psychologiques pouvant influencer la prise alimentaire après une perte de sommeil. Ces études pourraient peut-être permettre d'élaborer un portrait plus complet de « la personnalité » ou du « profil » de gens associé à une augmentation, une diminution ou à aucun changement dans l'apport énergétique suite à un manque de sommeil.

Lors de la condition « couche-tard », le fait d'être une femme était associé à une plus grande augmentation de l'apport énergétique. En général, il a été démontré que les femmes mangent moins et contrôlent davantage la qualité de leur alimentation que les hommes, ce qui serait motivé par une volonté accrue de manger sainement (Wardle et al., 2004). D'ailleurs, les troubles alimentaires sont plus prévalant chez les femmes (Smink et al., 2012) et les symptômes de consommation compulsive et de surconsommation seraient davantage présents le soir (Lundgren et al., 2008; Masheb et al., 2011). Par conséquent, il est possible de croire qu'après une perte de sommeil, les femmes pourraient être plus vulnérables à une perte du contrôle qu'elles exercent sur leur prise alimentaire et ce, plus particulièrement en soirée. Cependant, les études qui se sont intéressées au lien entre le manque de sommeil et la prise alimentaire montrent des résultats plutôt mitigés entre les hommes et les femmes, certaines rapportant une augmentation plus marquée de l'apport énergétique pour les hommes et d'autres pour les femmes (Bayon et al., 2014).

Ensuite, il faut noter que le chronotype a été contrôlé lors de la sélection des participants pour la présente étude afin de minimiser l'impact des chronotypes extrêmes sur les résultats. Or, plusieurs études ont montré qu'un chronotype du soir était associé à une plus grande consommation d'aliments riches en calories (gras et sucré) et ce, spécialement en soirée, ainsi qu'à un risque accru de développer de l'obésité (Baron et al., 2011; Miller et al., 2015). Une récente étude a par ailleurs montré que les gens présentant un chronotype du soir étaient plus sensibles à la privation de sommeil, qu'ils présentaient un moins bon contrôle exécutif et qu'ils avaient des temps de réaction plus lents que les personnes ayant un chronotype du matin (Song et al., 2019). Il serait intéressant de vérifier dans des études futures si les relations observées dans la présente étude entre la recherche de sensation, les attitudes implicites et la prise alimentaire sont présentes dans un même ordre de grandeur chez des gens présentant un chronotype du soir extrême ou un chronotype du matin extrême. Ceci pourrait permettre de déterminer si, en situation de manque de sommeil, le chronotype peut représenter un facteur de risque (type du soir) vs un facteur de protection (type du matin) concernant l'apport énergétique.

Par ailleurs, sur le plan génétique, des études ont montré dans les dernières années qu'un gène exprimé dans les cellules de l'horloge biologique, le CLOCK 3111T/C, pourrait avoir un impact sur les habitudes alimentaires (Fonken et al., 2010; Garaulet, Sánchez-Moreno, et al., 2011). Les données de ces recherches montrent que les individus présentant une paire d'allèles TC au lieu de TT ont en moyenne davantage de ghréline (hormone liée à l'appétit) en circulation dans le sang, qu'ils déjeunent plus tard, sont davantage du type de soir et dorment plus longtemps (Garaulet, Sánchez-Moreno, et al., 2011). Ceci soutient qu'au-delà des aspects psychologiques, des éléments neurophysiologiques pourraient également contribuer à la vulnérabilité de certains individus face à la prise alimentaire en situation de manque de sommeil.

En somme, les résultats du présent essai doctoral soutiennent que les choix alimentaires sont complexes et multifactoriels, mais qu'un « profil » de vulnérabilité impliquant la personnalité et les attitudes implicites envers la nourriture semble s'en dégager et expliquer partiellement la variabilité interindividuelle dans l'apport énergétique en situation de manque de sommeil. Les prochaines sections font états des forces et limites de l'étude, soulignent les retombées scientifiques, appliquées et psychométriques et proposent des considérations futures.

5.5. Forces et limites de l'étude

L'étude comporte quelques forces et limites qui doivent être mentionnées. Notamment, le devis choisi est une recherche de type expérimentale avec un modèle à multiples conditions contrebalancées. Ce devis particulier a comme principale force le fait que les sujets contrôles sont les mêmes que les sujets expérimentaux. Ceci a permis de mieux contrôler les possibles différences intergroupes pouvant contaminer les résultats (p. ex. le cas où un groupe aurait eu une représentation ethnique ou culturelle différente d'un autre groupe). Par contre, il est possible que des caractéristiques systématiques non contrôlées (p. ex. éléments culturels, sociaux, physiologiques, psychologiques) aient été des sources d'erreur qui affectent la validité interne et externe de l'étude. Pour contrôler le plus possible ces caractéristiques, des critères d'inclusion/exclusion précis ont été déterminés et respectés. En outre, une faiblesse générale de l'étude est liée à l'échantillonnage. En effet, les participants n'étant pas compensés pour la participation à cette recherche, il est possible qu'un biais de sélection soit présent. Par exemple, une large proportion de l'échantillon provient d'étudiants ou d'étudiantes du programme de kinésiologie de l'Université d'Ottawa et provenaient des laboratoires où s'est déroulée le projet de recherche ou étaient ami avec des gens dans ces laboratoires. Cette clientèle a par ailleurs un

profil particulier, celle-ci étant majoritairement composée de personnes qui portent souvent une attention plus importante à leur alimentation et à leur santé et représentaient en quelque sorte un échantillon « parfait » (c.-à-d. bonnes habitudes de sommeil, bonne santé physique et mentale). Ceci limite la généralisation des résultats à d'autres populations (p. ex. ceux qui présentent un trouble alimentaire). D'un autre côté, ceci a donné l'opportunité d'obtenir un échantillon homogène et dont les individus ont fait preuve d'une grande assiduité dans la réalisation de chaque étape du protocole, ce qui a favorisé l'obtention de résultats fiables et rigoureux, malgré un petit échantillon. Par ailleurs, en raison de la taille de l'échantillon, la puissance statistique est limitée et certaines analyses n'ont pu être effectuées. Par exemple, il n'a pas été possible de séparer les hommes et les femmes dans nos analyses, alors que des différences sont retrouvées dans la littérature en ce qui a trait à la prise de risque (Cauffman et al., 2010; van den Bos et al., 2013). Puis, les limites liées l'IGT ne nous ont pas permis d'analyser l'impact du manque de sommeil dans la condition « couche-tard ». En effet, cette tâche est sensible à l'effet d'apprentissage et nous n'avons donc pas été au-delà de deux administrations avec des versions équivalentes contrebalancées (Killgore et al., 2006). Ainsi, les participants l'ont fait uniquement lors des sessions contrôle et « lève-tôt » afin de cibler une diminution maximale du sommeil paradoxal, car celui-ci est généralement plus présent en deuxième moitié de la nuit (Goldstein & Walker, 2014). Il est alors impossible de se prononcer sur l'impact du manque de sommeil sur la prise de décision dans la condition « couche-tard ». Finalement, il est important de noter que le petit déjeuner standard était au même moment pour chaque condition. Ainsi, pour la session lève-tôt, il s'est passé quelques heures d'éveil avant leur premier repas. Considérant que la privation de sommeil entraîne une augmentation de la ghréline et une diminution de la leptine, ce qui a pour effet d'augmenter l'appétit et de diminuer le sentiment subjectif de satiété (Broussard

et al., 2017; Magee et al., 2009), il est probable les participants étaient un peu plus affamés au moment du petit déjeuner. Toutefois, leur déjeuner était le même à chaque rencontre et ils n'ont donc pas pu manger davantage. De plus, la ghréline et la leptine se sont très probablement normalisées après le premier repas (Broussard et al., 2017; Magee et al., 2009), mais puisque nous n'avons pas mesuré les taux d'hormones, il nous est impossible de l'affirmer.

5.6. Retombées scientifiques, appliquées et psychométriques

Le présent essai doctoral est parmi les premières recherches qui visent à mieux comprendre les raisons qui font en sorte que certaines personnes mangent davantage en situation de manque de sommeil alors que d'autres ne semblent pas être aussi affectées. Cette étude unique intègre plusieurs domaines de recherche (le sommeil, la nutrition, la psychologie sociale, la psychologie de la personnalité, la cognition) et a l'avantage d'avoir plusieurs retombées scientifiques, appliquées et psychométriques potentielles. En effet, la portée des résultats offre un apport considérable à l'avancement des connaissances sur le lien entre les caractéristiques psychologiques des individus et la prise alimentaire en situation de manque de sommeil.

Tout d'abord, ce projet contribue aux connaissances scientifiques en ajoutant du poids aux recherches qui mettent en lumière la grande variabilité interindividuelle dans la prise alimentaire suite à une privation partielle de sommeil (Klingenberg et al., 2012; McNeil & St-Onge, 2017; Nedeltcheva et al., 2009). De plus, il souligne l'importance de caractéristiques individuelles comme le niveau de recherche de sensations et les attitudes implicites envers la nourriture pour mieux comprendre et expliquer cette variabilité. En ce sens, il contribue à définir un peu mieux le « profil » des personnes plus susceptibles d'augmenter leur prise alimentaire en situation de manque de sommeil. Par ailleurs, si les études futures soutiennent et répliquent nos résultats, ces

connaissances pourraient permettre de mieux adapter les interventions pour favoriser un mode de vie sain chez certaines populations cliniques dont les personnes aux prises avec un problème de poids (p. ex. obésité), surtout dans un contexte où le manque de sommeil est fréquent (p. ex. travail de nuit, quart de travail rotatif), ce qui représente une contribution appliquée.

Ensuite, ce projet contribue également aux connaissances scientifiques en confirmant les recherches qui soulignent l'utilité de l'IGT pour évaluer la prise de décision dans un contexte de manque de sommeil (Killgore et al., 2006). De plus, il met davantage en évidence l'importance particulière du sommeil paradoxal pour maintenir le bon fonctionnement des processus exécutifs impliqués dans la prise de décision (Goldstein & Walker, 2014). Par ailleurs, notre étude apporte aussi une contribution appliquée alors que certaines populations, comme les adolescents, sont plus enclines à être privées de sommeil paradoxal (Carskadon et al., 1998), ce qui pourrait avoir des répercussions sur leur prise de décision. En effet, ces connaissances pourraient contribuer à souligner l'importance de mettre en place des mesures afin de prévenir la perte de sommeil chez ces populations (p. ex. retarder l'heure du début des cours).

Finalement, cette étude apporte une contribution psychométrique originale en utilisant une version inusitée du TAI. Plusieurs études ont utilisé ce paradigme pour évaluer différents concepts cibles liés à la consommation alimentaire (p. ex. haut en calories vs bas en calories, collation plaisante vs collation pas plaisante) (Alkozei et al., 2018; Ayres et al., 2012; Songa & Russo, 2018). Cependant, ces TAI mesurent généralement des concepts précis qui peuvent difficilement se généraliser aux choix que l'on fait dans la vie de tous les jours. Considérant que des résultats significatifs ont été obtenus grâce à cette tâche et qu'ils vont dans le même sens que ce qui était attendu, la validité du TAI en tant qu'outil de recherche dans le domaine de l'alimentation s'en voit renforcée. De plus, si cette version est reprise et que les résultats sont

répliqués, ce TAI pourrait éventuellement apporter une contribution clinique afin d'évaluer les attitudes implicites des individus dans des programmes d'intervention pour la gestion du poids par exemple.

5.7. Considérations futures

À notre connaissance, bien que plusieurs études se sont intéressées au lien entre le manque de sommeil, la prise alimentaire et les éléments pouvant l'expliquer, aucune autre étude ne s'était intéressée aux facteurs pouvant expliquer spécifiquement la variabilité interindividuelle dans la prise alimentaire qu'on retrouve après une nuit de manque de sommeil en première ou deuxième moitié de la nuit. Ainsi, un vaste champ de recherche s'ouvre dans ce créneau particulier. En premier lieu, il serait intéressant que cette étude soit répliquée pour solidifier les connaissances. En effet, malgré les résultats prometteurs que nous avons obtenus, il est important de se montrer prudent dans leur généralisation, surtout considérant notre échantillon limité. D'autres études utilisant le même protocole et comportant un échantillon plus volumineux et plus diversifié (p. ex. différentes tranches d'âges, groupes cliniques, etc.) sont donc nécessaires afin d'être plus représentatif de la population générale. Par ailleurs, un plus grand échantillon permettrait de faire des analyses plus détaillées en fonction du sexe, inclure un plus grand nombre de variables dans les modèles (p. ex. IMC, performance au IGT), mais également de dresser un portrait plus clair en ce qui a trait à la personnalité, considérant que nos résultats ont montré une association inusitée avec la recherche de sensations. En deuxième lieu, le présent essai ne comportait qu'une nuit de restriction de sommeil dans chaque condition. Il serait intéressant que les études futures utilisent des protocoles de restriction de sommeil chronique qui se feraient sur une durée prolongée, de façon à reproduire plus fidèlement des conditions de vie réelles. En effet,

considérant que plusieurs personnes manquent régulièrement de sommeil en raison des exigences de la vie quotidienne, il serait utile de déterminer quelles caractéristiques sont déterminantes dans l'impact d'un manque de sommeil sur la prise alimentaire à long terme. Ceci permettrait de fournir des indicateurs clairs pour déterminer quelles personnes sont plus à risque d'un gain de poids dans un contexte où le manque de sommeil est fréquent et chronique (p. ex. travail de nuit, quart de travail rotatif). Finalement, il serait également essentiel que les études axées sur les interventions relatives au traitement du surpoids et de l'obésité comprennent une évaluation des traits de personnalité et des attitudes implicites afin d'établir des interventions davantage adaptées, surtout dans un contexte où le sommeil est problématique (p. ex. présence d'apnée du sommeil).

5.8. Conclusions

La restriction du sommeil entraîne souvent une augmentation de l'apport énergétique. Toutefois, des différences interindividuelles seraient notées dans les comportements alimentaires alors que certaines personnes sont plus susceptibles que d'autres à consommer davantage. L'objectif de cet essai était d'explorer l'importance des caractéristiques interindividuelles et des processus mentaux dans l'impact d'un manque de sommeil sur la prise alimentaire. Globalement, l'étude a permis de soulever que la personnalité (recherche de sensations) et les attitudes implicites envers la nourriture sont deux domaines à considérer lorsqu'on veut expliquer les changements dans l'apport énergétique après une perte de sommeil. D'ailleurs, les résultats suggèrent que les participants qui présentent une faible recherche de sensations et un biais plus favorable envers la nourriture « peu santé » sont plus susceptibles de consommer davantage lorsqu'ils dorment moins, tandis que ceux qui présentent des résultats contraires seraient en

quelque sorte plus protégés dans les mêmes conditions. En outre, ceci se manifeste seulement lorsque l'individu doit se lever plus tôt que son heure habituelle, ce qui pourrait s'expliquer par l'architecture particulière du sommeil, notamment la prédominance du sommeil paradoxal à la fin de la nuit. Ces résultats permettent de mieux comprendre pourquoi certaines personnes sont plus susceptibles de manger davantage et potentiellement prendre du poids en situation de manque de sommeil, ce qui ouvre la porte à des interventions mieux ciblées surtout dans les contextes le style de vie favorise la restriction du sommeil (p. ex. les quarts de travail rotatifs).

RÉFÉRENCES

Adams, R. J., Appleton, S. L., Taylor, A. W., Gill, T. K., Lang, C., McEvoy, R. D., & Antic, N.

A. (2017). Sleep health of Australian adults in 2016: results of the 2016 Sleep Health Foundation national survey. *Sleep health*, 3(1), 35-42.

<https://doi.org/10.1016/j.sleh.2016.11.005>

Ahmed, A. E., Al-Jahdali, F., AlALwan, A., Abuabat, F., Salih, S. B., Al-Harbi, A., Baharoon,

S., Khan, M., Ali, Y. Z., & Al-Jahdali, H. (2017). Prevalence of sleep duration among Saudi adults. *Saudi medical journal*, 38(3), 276.

<https://doi.org/10.15537/smj.2017.3.17101>

Al Khatib, H., Harding, S., Darzi, J., & Pot, G. (2017). The effects of partial sleep deprivation on

energy balance: a systematic review and meta-analysis. *European journal of clinical nutrition*, 71(5), 614-624. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2016.201>

Alkozei, A., Killgore, W. D., Smith, R., Dailey, N. S., Bajaj, S., Raikes, A. C., & Haack, M.

(2018). Chronic sleep restriction differentially affects implicit biases toward food among men and women: Preliminary evidence. *Journal of sleep research*, 27(4), e12629.

<https://doi.org/10.1111/jsr.12629>

Alonso-Alonso, M., Woods, S. C., Pelchat, M., Grigson, P. S., Stice, E., Farooqi, S., Khoo, C. S.,

Mattes, R. D., & Beauchamp, G. K. (2015). Food reward system: current perspectives and future research needs. *Nutrition reviews*, 73(5), 296-307.

<https://doi.org/10.1093/nutrit/nuv002>

Anderson, C., & Dickinson, D. L. (2010). Bargaining and trust: the effects of 36-h total sleep

deprivation on socially interactive decisions. *Journal of sleep research*, 19(1-Part-I), 54-63. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2009.00767.x>

- Arias-Carrión, O., Stamelou, M., Murillo-Rodríguez, E., Menéndez-González, M., & Pöppel, E. (2010). Dopaminergic reward system: a short integrative review. *International archives of medicine*, 3(1), 1-6. <https://doi.org/10.1186/1755-7682-3-24>
- Ashby, C. R., & Stritzke, W. G. (2013). Is sensitivity to reward associated with the malleability of implicit inclinations toward high-fat food? *Emotion*, 13(4), 711. <https://doi.org/10.1037/a0031611>
- Assefa, S. Z., Diaz-Abad, M., Wickwire, E. M., & Scharf, S. M. (2015). The functions of sleep. *AIMS Neuroscience*, 2(3), 155-171.
- Axelsson, J., Ingre, M., Kecklund, G., Lekander, M., Wright Jr, K. P., & Sundelin, T. (2020). Sleepiness as motivation: a potential mechanism for how sleep deprivation affects behavior. *Sleep*, 43(6), zsz291. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsz291>
- Ayres, K., Conner, M. T., Prestwich, A., & Smith, P. (2012). Do implicit measures of attitudes incrementally predict snacking behaviour over explicit affect-related measures? *Appetite*, 58(3), 835-841. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2012.01.019>
- Baker, F. C., Waner, J. I., Vieira, E. F., Taylor, S. R., Driver, H. S., & Mitchell, D. (2001). Sleep and 24 hour body temperatures: a comparison in young men, naturally cycling women and women taking hormonal contraceptives. *The Journal of physiology*, 530(3), 565-574. <https://proxybiblio.uqo.ca:2911/doi/full/10.1111/j.1469-7793.2001.0565k.x?sid=vendor%3Adatabase>
- Baron, K. G., Reid, K. J., Kern, A. S., & Zee, P. C. (2011). Role of sleep timing in caloric intake and BMI. *Obesity*, 19(7), 1374-1381. <https://doi.org/10.1038/oby.2011.100>

- Bayon, V., Leger, D., Gomez-Merino, D., Vecchierini, M.-F., & Chennaoui, M. (2014). Sleep debt and obesity. *Annals of medicine*, *46*(5), 264-272.
<https://doi.org/10.3109/07853890.2014.931103>
- Bechara, A., Damasio, A. R., Damasio, H., & Anderson, S. W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition*, *50*, 1-3.
[https://doi.org/10.1016/0010-0277\(94\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0010-0277(94)90018-3)
- Bechara, A., Tranel, D., & Damasio, H. (2000). Characterization of the decision-making deficit of patients with ventromedial prefrontal cortex lesions. *Brain*, *123*(11), 2189-2202.
<https://doi.org/10.1093/brain/123.11.2189>
- Benedict, C., Brooks, S. J., O'Daly, O. G., Almen, M. S., Morell, A., Åberg, K., Gिंगnell, M., Schultes, B., Hallschmid, M., & Broman, J.-E. (2012). Acute sleep deprivation enhances the brain's response to hedonic food stimuli: an fMRI study. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, *97*(3), E443-E447. <https://doi.org/10.1210/jc.2011-2759>
- Berridge, K. C. (1996). Food reward: brain substrates of wanting and liking. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *20*(1), 1-25. [https://doi.org/10.1016/0149-7634\(95\)00033-B](https://doi.org/10.1016/0149-7634(95)00033-B)
- Berry, R. B., Budhiraja, R., Gottlieb, D. J., Gozal, D., Iber, C., Kapur, V. K., Marcus, C. L., Mehra, R., Parthasarathy, S., & Quan, S. F. (2012). Rules for scoring respiratory events in sleep: update of the 2007 AASM manual for the scoring of sleep and associated events. *Journal of clinical sleep medicine*, *8*(05), 597-619. <https://doi.org/10.5664/jcsm.2172>
- Blechert, J., Meule, A., Busch, N. A., & Ohla, K. (2014). Food-pics: an image database for experimental research on eating and appetite. *Frontiers in psychology*, *5*, 617.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00617>

- Bongers, P., Jansen, A., Houben, K., & Roefs, A. (2013). Happy eating: the single target implicit association test predicts overeating after positive emotions. *Eating behaviors, 14*(3), 348-355. <https://doi.org/10.1016/j.eatbeh.2013.06.007>
- Boyce, R., Glasgow, S. D., Williams, S., & Adamantidis, A. (2016). Causal evidence for the role of REM sleep theta rhythm in contextual memory consolidation. *Science, 352*(6287), 812-816.
- Bragulat, V., Dzemidzic, M., Bruno, C., Cox, C. A., Talavage, T., Considine, R. V., & Kareken, D. A. (2010). Food-related odor probes of brain reward circuits during hunger: a pilot fMRI study. *Obesity, 18*(8), 1566-1571. <https://doi.org/10.1038/oby.2010.57>
- Brand, M., Recknor, E. C., Grabenhorst, F., & Bechara, A. (2007). Decisions under ambiguity and decisions under risk: correlations with executive functions and comparisons of two different gambling tasks with implicit and explicit rules. *Journal of clinical and experimental neuropsychology, 29*(1), 86-99. <https://doi.org/10.1080/13803390500507196>
- Brondel, L., Romer, M. A., Nougues, P. M., Touyarou, P., & Davenne, D. (2010). Acute partial sleep deprivation increases food intake in healthy men. *The American journal of clinical nutrition, 91*(6), 1550-1559. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.28523>
- Broussard, J. L., Kilkus, J. M., Delebecque, F., Abraham, V., Day, A., Whitmore, H. R., & Tasali, E. (2016). Elevated ghrelin predicts food intake during experimental sleep restriction. *Obesity, 24*(1), 132-138. <https://doi.org/10.1002/oby.21321>
- Brunet, J.-F., McNeil, J., Doucet, É., & Forest, G. (2020). The association between REM sleep and decision-making: Supporting evidences. *Physiology & behavior, 225*, 113109. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2020.113109>

Buelow, M. T., & Suhr, J. A. (2009). Construct validity of the Iowa gambling task.

Neuropsychology review, 19(1), 102-114.

Burnett, C. M., Allen, M. S., & Vella, S. A. (2018). Personality and sedentary behaviour in

Australian adults. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 16(3), 215-

220. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2016.1212083>

Byrnes, J. P., Miller, D. C., & Schafer, W. D. (1999). Gender differences in risk taking: a meta-analysis. *Psychological bulletin*, 125(3), 367.

Cai, D. J., Mednick, S. A., Harrison, E. M., Kanady, J. C., & Mednick, S. C. (2009). REM, not incubation, improves creativity by priming associative networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(25), 10130-10134.

<https://doi.org/10.1073/pnas.0900271106>

Carlozzi, N. E., Horner, M. D., Kose, S., Yamanaka, K., Mishory, A., Mu, Q., Nahas, Z., Wells, S. A., & George, M. S. (2010). Personality and reaction time after sleep deprivation.

Current Psychology, 29(1), 24-33. <https://doi.org/10.1007/s12144-009-9068-8>

Carskadon, M. A., Wolfson, A. R., Acebo, C., Tzischinsky, O., & Seifer, R. (1998). Adolescent sleep patterns, circadian timing, and sleepiness at a transition to early school days. *Sleep*,

21(8), 871-881. <https://doi.org/10.1093/sleep/21.8.871>

Cauffman, E., Shulman, E. P., Steinberg, L., Claus, E., Banich, M. T., Graham, S., & Woolard, J. (2010). Age differences in affective decision making as indexed by performance on the

Iowa Gambling Task. *Developmental psychology*, 46(1), 193.

<https://doi.org/10.1037/a0016128>

- Chan, W. (2018). Daily associations between objective sleep and consumption of highly palatable food in free-living conditions. *Obesity science & practice*, 4(4), 379-386. <https://doi.org/10.1002/osp4.281>
- Chapman, C. D., Nilsson, E. K., Nilsson, V. C., Cedernaes, J., Rångtjell, F. H., Vogel, H., Dickson, S. L., Broman, J. E., Hogenkamp, P. S., & Schiöth, H. B. (2013). Acute sleep deprivation increases food purchasing in men. *Obesity*, 21(12), E555-E560. <https://doi.org/10.1002/oby.20579>
- Chaput, J.-P. (2016). Is sleep deprivation a contributor to obesity in children? *Eating and Weight Disorders-Studies on Anorexia, Bulimia and Obesity*, 21(1), 5-11. <https://doi.org/10.1007/s40519-015-0233-9>
- Chaput, J.-P., & Dutil, C. (2016). Lack of sleep as a contributor to obesity in adolescents: impacts on eating and activity behaviors. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 13(1), 103. <https://doi.org/10.1186/s12966-016-0428-0>
- Chaput, J.-P., Wong, S. L., & Michaud, I. (2017). Duration and quality of sleep among Canadians aged 18 to 79. *Health reports*, 28(9), 28.
- Chaput, J. P., Després, J. P., Bouchard, C., & Tremblay, A. (2007). Short sleep duration is associated with reduced leptin levels and increased adiposity: results from the Quebec family study. *Obesity*, 15(1), 253-261. <https://doi.org/10.1038/oby.2007.512>
- Chaput, J. P., Klingenberg, L., Astrup, A., & Sjödén, A. M. (2011). Modern sedentary activities promote overconsumption of food in our current obesogenic environment. *Obesity reviews*, 12(5), e12-e20. <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2010.00772.x>

- Cooper, C. B., Neufeld, E. V., Dolezal, B. A., & Martin, J. L. (2018). Sleep deprivation and obesity in adults: a brief narrative review. *BMJ open sport & exercise medicine*, 4(1).
<http://dx.doi.org/10.1136/bmjsem-2018-000392>
- Cortese, B. M., Mitchell, T. R., Galloway, M. P., Prevost, K. E., Fang, J., Moore, G. J., & Uhde, T. W. (2010). Region-specific alteration in brain glutamate: possible relationship to risk-taking behavior. *Physiology & behavior*, 99(4), 445-450.
<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2009.12.005>
- Crispim, C. A., Zimberg, I. Z., dos Reis, B. G., Diniz, R. M., Tufik, S., & de Mello, M. T. (2011). Relationship between food intake and sleep pattern in healthy individuals. *Journal of clinical sleep medicine*, 7(6), 659-664. <https://doi.org/10.5664/jcsm.1476>
- Cunningham-Sabo, L., & Lohse, B. (2013). Cooking with Kids positively affects fourth graders' vegetable preferences and attitudes and self-efficacy for food and cooking. *Childhood Obesity*, 9(6), 549-556. <https://doi.org/10.1089/chi.2013.0076>
- Dashti, H. S., Hivert, M.-F., Levy, D. E., McCurley, J. L., Saxena, R., & Thorndike, A. N. (2020). Polygenic risk score for obesity and the quality, quantity, and timing of workplace food purchases: A secondary analysis from the ChooseWell 365 randomized trial. *PLoS medicine*, 17(7), e1003219.
- Dashti, H. S., Merino, J., Lane, J. M., Song, Y., Smith, C. E., Tanaka, T., McKeown, N. M., Tucker, C., Sun, D., & Bartz, T. M. (2019). Genome-wide association study of breakfast skipping links clock regulation with food timing. *The American journal of clinical nutrition*, 110(2), 473-484.

- Dashti, H. S., Scheer, F. A., Jacques, P. F., Lamon-Fava, S., & Ordovás, J. M. (2015). Short sleep duration and dietary intake: epidemiologic evidence, mechanisms, and health implications. *Advances in nutrition*, 6(6), 648-659. <https://doi.org/10.3945/an.115.008623>
- de Macedo, I. C., de Freitas, J. S., & da Silva Torres, I. L. (2016). The influence of palatable diets in reward system activation: a mini review. *Advances in pharmacological sciences*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/7238679>
- De Neys, W. (2017). *Dual process theory 2.0*. Routledge.
- de Ridder, D., Kroese, F., Evers, C., Adriaanse, M., & Gillebaart, M. (2017). Healthy diet: Health impact, prevalence, correlates, and interventions. *Psychology & health*, 32(8), 907-941. <https://doi.org/10.1080/08870446.2017.1316849>
- Delazer, M., Högl, B., Zamarian, L., Wenter, J., Ehrmann, L., Gschliesser, V., Brandauer, E., Poewe, W., & Frauscher, B. (2012). Decision making and executive functions in REM sleep behavior disorder. *Sleep*, 35(5), 667-673. <https://doi.org/10.5665/sleep.1828>
- Demos, K., Hart, C., Sweet, L., Mailloux, K., Trautvetter, J., Williams, S., Wing, R., & McCaffery, J. (2016). Partial sleep deprivation impacts impulsive action but not impulsive decision-making. *Physiology & behavior*, 164, 214-219. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.06.003>
- Depner, C. M., Stothard, E. R., & Wright, K. P. (2014). Metabolic consequences of sleep and circadian disorders. *Current diabetes reports*, 14(7), 1-9. <https://doi.org/10.1007/s11892-014-0507-z>
- Diekelmann, S., & Born, J. (2010). The memory function of sleep. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(2), 114-126. <https://doi.org/10.1038/nrn2762>

Durmer, J. S., & Dinges, D. F. (2005). Neurocognitive consequences of sleep deprivation.

Seminars in neurology, 29(4), 320-339. DOI: 10.1055/s-0029-1237117

Eertmans, A., Victoir, A., Vansant, G., & Van den Bergh, O. (2005). Food-related personality traits, food choice motives and food intake: Mediator and moderator relationships. *Food Quality and Preference*, 16(8), 714-726. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2005.04.007>

Eschenbeck, H., Heim-Dreger, U., Steinhilber, A., & Kohlmann, C.-W. (2016). Self-regulation of healthy nutrition: automatic and controlled processes. *BMC psychology*, 4(1), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s40359-016-0108-5>

Evans, J. S. B. (2008). Dual-processing accounts of reasoning, judgment, and social cognition. *Annual Review of Psychology*, 59, 255-278. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093629>

Ferrara, M., & De Gennaro, L. (2001). How much sleep do we need? *Sleep medicine reviews*, 5(2), 155-179. <https://doi.org/10.1053/smr.2000.0138>

Fink, B., Hamdaoui, A., Wenig, F., & Neave, N. (2010). Hand-grip strength and sensation seeking. *Personality and Individual Differences*, 49(7), 789-793. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2010.06.032>

Finlayson, G., King, N., & Blundell, J. (2008). The role of implicit wanting in relation to explicit liking and wanting for food: implications for appetite control. *Appetite*, 50(1), 120-127. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2007.06.007>

Finlayson, G., King, N., & Blundell, J. E. (2007a). Is it possible to dissociate 'liking' and 'wanting' for foods in humans? A novel experimental procedure. *Physiology & behavior*, 90(1), 36-42. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2006.08.020>

- Finlayson, G., King, N., & Blundell, J. E. (2007b). Liking vs. wanting food: importance for human appetite control and weight regulation. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 31(7), 987-1002. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2007.03.004>
- Fonken, L. K., Workman, J. L., Walton, J. C., Weil, Z. M., Morris, J. S., Haim, A., & Nelson, R. J. (2010). Light at night increases body mass by shifting the time of food intake. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(43), 18664-18669. <https://doi.org/10.1073/pnas.1008734107>
- Furst, T., Connors, M., Bisogni, C. A., Sobal, J., & Falk, L. W. (1996). Food choice: a conceptual model of the process. *Appetite*, 26(3), 247-266. <https://doi.org/10.1006/appe.1996.0019>
- Gansler, D. A., Jerram, M. W., Vannorsdall, T. D., & Schretlen, D. J. (2011). Does the Iowa Gambling Task measure executive function? *Archives of Clinical Neuropsychology*, 26(8), 706-717. <https://doi.org/10.1093/arclin/acr082>
- Garaulet, M., Ortega, F., Ruiz, J., Rey-Lopez, J., Beghin, L., Manios, Y., Cuenca-Garcia, M., Plada, M., Diethelm, K., & Kafatos, A. (2011). Short sleep duration is associated with increased obesity markers in European adolescents: effect of physical activity and dietary habits. The HELENA study. *International journal of obesity*, 35(10), 1308-1317. <https://doi.org/10.1038/ijo.2011.149>
- Garaulet, M., Sánchez-Moreno, C., Smith, C. E., Lee, Y.-C., Nicolás, F., & Ordovás, J. M. (2011). Ghrelin, sleep reduction and evening preference: relationships to CLOCK 3111 T/C SNP and weight loss. *PLoS One*, 6(2), e17435. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017435>

- Genzel, L., Spoormaker, V., Konrad, B., & Dresler, M. (2015). The role of rapid eye movement sleep for amygdala-related memory processing. *Neurobiology of learning and memory*, 122, 110-121. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2015.01.008>
- Goel, N., Rao, H., Durmer, J. S., & Dinges, D. F. (2009). Neurocognitive consequences of sleep deprivation. *Seminars in neurology*, 29(4), 320-329. DOI: 10.1055/s-0029-1237117
- Goldstein, A. N., & Walker, M. P. (2014). The role of sleep in emotional brain function. *Annual review of clinical psychology*, 10, 679-708. <https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-032813-153716>
- Golley, R. K., Maher, C., Matricciani, L., & Olds, T. (2013). Sleep duration or bedtime? Exploring the association between sleep timing behaviour, diet and BMI in children and adolescents. *International journal of obesity*, 37(4), 546-551. <https://doi.org/10.1038/ijo.2012.212>
- Greenwald, A. G., & Krieger, L. H. (2006). Implicit bias: Scientific foundations. *California law review*, 94(4), 945-967. <https://doi.org/10.2307/20439056>
- Greenwald, A. G., McGhee, D. E., & Schwartz, J. L. (1998). Measuring individual differences in implicit cognition: the implicit association test. *Journal of personality and social psychology*, 74(6), 1464. <https://doi.org/10.13016/vouu-wmtf>
- Greenwald, A. G., Nosek, B. A., & Banaji, M. R. (2003). Understanding and using the implicit association test: I. An improved scoring algorithm. *Journal of personality and social psychology*, 85(2), 197. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.85.2.197>
- Greer, S. M., Goldstein, A. N., & Walker, M. P. (2013). The impact of sleep deprivation on food desire in the human brain. *Nature communications*, 4(1), 1-7. <https://doi.org/10.1038/ncomms3259>

- Gujar, N., Yoo, S.-S., Hu, P., & Walker, M. P. (2011). Sleep deprivation amplifies reactivity of brain reward networks, biasing the appraisal of positive emotional experiences. *Journal of Neuroscience*, *31*(12), 4466-4474. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3220-10.2011>
- Guszkowska, M., & Bołdak, A. (2010). Sensation seeking in males involved in recreational high risk sports. *Biology of Sport*, *27*(3).
- Hansson, C., Shirazi, R. H., Näslund, J., Vogel, H., Neuber, C., Holm, G., Anckarsäter, H., Dickson, S. L., Eriksson, E., & Skibicka, K. P. (2012). Ghrelin influences novelty seeking behavior in rodents and men. *PLoS One*, *7*(12), e50409. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050409>
- Hill, J. O., Wyatt, H. R., & Peters, J. C. (2012). Energy balance and obesity. *Circulation*, *126*(1), 126-132. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.111.087213>
- Hiser, J., & Koenigs, M. (2018). The multifaceted role of the ventromedial prefrontal cortex in emotion, decision making, social cognition, and psychopathology. *Biological Psychiatry*, *83*(8), 638-647. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2017.10.030>
- Horne, J. A., & Östberg, O. (1976). A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *International journal of chronobiology*.
- Johns, M. W. (1991). A new method for measuring daytime sleepiness: the Epworth sleepiness scale. *Sleep*, *14*(6), 540-545. <https://doi.org/10.1093/sleep/14.6.540>
- Jones, S. E., Lane, J. M., Wood, A. R., van Hees, V. T., Tyrrell, J., Beaumont, R. N., Jeffries, A. R., Dashti, H. S., Hillsdon, M., & Ruth, K. S. (2019). Genome-wide association analyses of chronotype in 697,828 individuals provides insights into circadian rhythms. *Nature communications*, *10*(1), 1-11.

Kerkhof, G. A., & Van Dongen, H. (2010). *Human sleep and cognition: Basic research*.

Elsevier.

Killgore, W. D., Balkin, T. J., & Wesensten, N. J. (2006). Impaired decision making following 49 h of sleep deprivation. *Journal of sleep research, 15*(1), 7-13.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2006.00487.x>

Killgore, W. D., Kahn-Greene, E. T., Lipizzi, E. L., Newman, R. A., Kamimori, G. H., & Balkin, T. J. (2008). Sleep deprivation reduces perceived emotional intelligence and constructive thinking skills. *Sleep medicine, 9*(5), 517-526. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2007.07.003>

Killgore, W. D., Killgore, D. B., Day, L. M., Li, C., Kamimori, G. H., & Balkin, T. J. (2007).

The effects of 53 hours of sleep deprivation on moral judgment. *Sleep, 30*(3), 345-352.

<https://doi.org/10.1093/sleep/30.3.345>

Kim, H.-N., Cho, J., Chang, Y., Ryu, S., Shin, H., & Kim, H.-L. (2015). Association between personality traits and sleep quality in young Korean women. *PLoS One, 10*(6), e0129599.

Klingenberg, L., Chaput, J.-P., Holmbäck, U., Jennum, P., Astrup, A., & Sjödin, A. (2012).

Sleep restriction is not associated with a positive energy balance in adolescent boys. *The American journal of clinical nutrition, 96*(2), 240-248.

<https://doi.org/10.3945/ajcn.112.038638>

Knutson, K. L., & Van Cauter, E. (2008). Associations between sleep loss and increased risk of obesity and diabetes. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1129*, 287.

<https://doi.org/10.1196/annals.1417.033>

Kovács, I., Richman, M. J., Janka, Z., Maraz, A., & Andó, B. (2017). Decision making measured by the Iowa Gambling Task in alcohol use disorder and gambling disorder: a systematic

review and meta-analysis. *Drug and Alcohol Dependence*, 181, 152-161.

<https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2017.09.023>

Krause, A. J., Simon, E. B., Mander, B. A., Greer, S. M., Saletin, J. M., Goldstein-Piekarski, A. N., & Walker, M. P. (2017). The sleep-deprived human brain. *Nature Reviews*

Neuroscience, 18(7), 404. <https://doi.org/10.1038/nrn.2017.55>

Krueger, J. M., Frank, M. G., Wisor, J. P., & Roy, S. (2016). Sleep function: Toward elucidating an enigma. *Sleep medicine reviews*, 28, 46-54.

<https://doi.org/10.1016/j.smrv.2015.08.005>

Lane, K. A., Banaji, M. R., Nosek, B. A., & Greenwald, A. G. (2007). Understanding and using the implicit association test: IV. *Implicit measures of attitudes*, 59-102.

Laposky, A. D., Bass, J., Kohsaka, A., & Turek, F. W. (2008). Sleep and circadian rhythms: key components in the regulation of energy metabolism. *FEBS letters*, 582(1), 142-151.

<https://doi.org/10.1016/j.febslet.2007.06.079>

Larson, N., & Story, M. (2009). A review of environmental influences on food choices. *Annals of behavioral medicine*, 38(1), 56-73. <https://doi.org/10.1007/s12160-009-9120-9>

Lawrence, N. S., Jollant, F., O'Daly, O., Zelaya, F., & Phillips, M. L. (2009). Distinct roles of prefrontal cortical subregions in the Iowa Gambling Task. *Cerebral Cortex*, 19(5), 1134-

1143. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhn154>

Lebens, H., Roefs, A., Martijn, C., Houben, K., Nederkoorn, C., & Jansen, A. (2011). Making implicit measures of associations with snack foods more negative through evaluative conditioning. *Eating behaviors*, 12(4), 249-253.

<https://doi.org/10.1016/j.eatbeh.2011.07.001>

Lemmens, S. G., Schoffelen, P. F., Wouters, L., Born, J. M., Martens, M. J., Rutters, F., &

Westerterp-Plantenga, M. S. (2009). Eating what you like induces a stronger decrease of

‘wanting’ to eat. *Physiology & behavior*, *98*(3), 318-325.

<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2009.06.008>

Lieberman, M. D. (2007). Social cognitive neuroscience: a review of core processes. *Annu. Rev.*

Psychol., *58*, 259-289. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.58.110405.085654>

Liu, Y., Wheaton, A. G., Chapman, D. P., Cunningham, T. J., Lu, H., & Croft, J. B. (2016).

Prevalence of healthy sleep duration among adults—United States, 2014. *Morbidity and*

Mortality Weekly Report, *65*(6), 137-141. DOI: 10.15585/mmwr.mm6506a1

Liu, Z., Wang, Y., Cai, L., Li, Y., Chen, B., Dong, Y., & Huang, Y. H. (2016). Prefrontal cortex

to accumbens projections in sleep regulation of reward. *Journal of Neuroscience*, *36*(30),

7897-7910. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0347-16.2016>

Lopez-Minguez, J., Dashti, H. S., Madrid-Valero, J. J., Madrid, J. A., Saxena, R., Scheer, F. A.,

Ordoñana, J. R., & Garaulet, M. (2019). Heritability of the timing of food intake. *Clinical*

Nutrition, *38*(2), 767-773.

Lowden, A., Moreno, C., Holmbäck, U., Lennernäs, M., & Tucker, P. (2010). Eating and shift

work—effects on habits, metabolism, and performance. *Scandinavian journal of work,*

environment & health, 150-162.

Lundgren, J., Shapiro, J., & Bulik, C. (2008). Night eating patterns of patients with bulimia

nervosa: a preliminary report. *Eating and Weight Disorders-Studies on Anorexia, Bulimia*

and Obesity, *13*(4), 171-175.

- Magee, C. A., Huang, X.-F., Iverson, D. C., & Caputi, P. (2009). Acute sleep restriction alters neuroendocrine hormones and appetite in healthy male adults. *Sleep and Biological Rhythms*, 7(2), 125-127. <https://doi.org/10.1111/j.1479-8425.2009.00396.x>
- Magnavita, N., & Garbarino, S. (2017). Sleep, health and wellness at work: a scoping review. *International journal of environmental research and public health*, 14(11), 1347. <https://doi.org/10.3390/ijerph14111347>
- Maquet, P., Péters, J.-M., Aerts, J., Delfiore, G., Degueldre, C., Luxen, A., & Franck, G. (1996). Functional neuroanatomy of human rapid-eye-movement sleep and dreaming. *Nature*, 383(6596), 163-166. <https://doi.org/10.1038/383163a0>
- Markwald, R. R., Melanson, E. L., Smith, M. R., Higgins, J., Perreault, L., Eckel, R. H., & Wright, K. P. (2013). Impact of insufficient sleep on total daily energy expenditure, food intake, and weight gain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(14), 5695-5700. <https://doi.org/10.1073/pnas.1216951110>
- Masheb, R. M., Grilo, C. M., & White, M. A. (2011). An examination of eating patterns in community women with bulimia nervosa and binge eating disorder. *International Journal of Eating Disorders*, 44(7), 618-624.
- Massar, S. A., Lim, J., & Huettel, S. A. (2019). Sleep deprivation, effort allocation and performance. *Progress in brain research*, 246, 1-26. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2019.03.007>
- Mattavelli, G., Gallucci, A., Schiena, G., D'Agostino, A., Sassetti, T., Bonora, S., Bertelli, S., Benetti, A., Tugnoli, E., & Ruggiero, G. M. (2019). Transcranial direct current stimulation modulates implicit attitudes towards food in eating disorders. *International Journal of Eating Disorders*, 52(5), 576-581. <https://doi.org/10.1002/eat.23046>

- McCrae, R. R., Costa, J., Paul T., & Martin, T. A. (2005). The NEO-PI-3: A more readable revised NEO personality inventory. *Journal of personality assessment*, 84(3), 261-270. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa8403_05
- McHill, A. W., Phillips, A. J., Czeisler, C. A., Keating, L., Yee, K., Barger, L. K., Garaulet, M., Scheer, F. A., & Klerman, E. B. (2017). Later circadian timing of food intake is associated with increased body fat. *The American journal of clinical nutrition*, 106(5), 1213-1219. <https://doi.org/10.3945/ajcn.117.161588>
- McKenna, B. S., Dickinson, D. L., Orff, H. J., & Drummond, S. P. (2007). The effects of one night of sleep deprivation on known-risk and ambiguous-risk decisions. *Journal of sleep research*, 16(3), 245-252. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2007.00591.x>
- McNeil, J., Doucet, É., Brunet, J.-F., Hintze, L. J., Chaumont, I., Langlois, É., Maitland, R., Riopel, A., & Forest, G. (2016). The effects of sleep restriction and altered sleep timing on energy intake and energy expenditure. *Physiology & behavior*, 164, 157-163. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.05.051>
- McNeil, J., Forest, G., Hintze, L., Brunet, J., & Doucet, É. (2017). The effects of partial sleep restriction and altered sleep timing on olfactory performance. *European journal of clinical nutrition*, 71(12), 1471-1472. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2017.109>
- McNeil, J., Forest, G., Hintze, L. J., Brunet, J.-F., Finlayson, G., Blundell, J. E., & Doucet, É. (2017). The effects of partial sleep restriction and altered sleep timing on appetite and food reward. *Appetite*, 109, 48-56. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.11.020>
- McNeil, J., Riou, M.-È., Razmjou, S., Cadieux, S., & Doucet, É. (2012). Reproducibility of a food menu to measure energy and macronutrient intakes in a laboratory and under real-

- life conditions. *British journal of nutrition*, 108(7), 1316-1324. DOI: [10.1017/S0007114511006672](https://doi.org/10.1017/S0007114511006672)
- McNeil, J., & St-Onge, M. P. (2017). Increased energy intake following sleep restriction in men and women: A one-size-fits-all conclusion? *Obesity*, 25(6), 989-992. <https://doi.org/10.1002/oby.21831>
- Miller, A. L., Lumeng, J. C., & LeBourgeois, M. K. (2015). Sleep patterns and obesity in childhood. *Current opinion in endocrinology, diabetes, and obesity*, 22(1), 41. DOI: 10.1097/MED.0000000000000125
- Minkwitz, J., Chittka, T., Schuster, S., Kirkby, K. C., Sander, C., Hegerl, U., & Himmerich, H. (2016). Sensation seeking and physical activity. *Health Behavior and Policy Review*, 3(6), 528-534. <https://doi.org/10.14485/HBPR.3.6.2>
- Mishra, S., Lalumière, M. L., & Williams, R. J. (2010). Gambling as a form of risk-taking: Individual differences in personality, risk-accepting attitudes, and behavioral preferences for risk. *Personality and Individual Differences*, 49(6), 616-621. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2010.05.032>
- Murphy, C. M., Stojek, M. K., & MacKillop, J. (2014). Interrelationships among impulsive personality traits, food addiction, and body mass index. *Appetite*, 73, 45-50. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2013.10.008>
- Must, A., & Parisi, S. (2009). Sedentary behavior and sleep: paradoxical effects in association with childhood obesity. *International journal of obesity*, 33(1), S82-S86. <https://doi.org/10.1038/ijo.2009.23>
- Muzur, A., Pace-Schott, E. F., & Hobson, J. A. (2002). The prefrontal cortex in sleep. *Trends in cognitive sciences*, 6(11), 475-481. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(02\)01992-7](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(02)01992-7)

- Nakanishi, S., Hikida, T., & Yawata, S. (2014). Distinct dopaminergic control of the direct and indirect pathways in reward-based and avoidance learning behaviors. *Neuroscience*, 282, 49-59. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2014.04.026>
- Nedeltcheva, A. V., Kilkus, J. M., Imperial, J., Kasza, K., Schoeller, D. A., & Penev, P. D. (2009). Sleep curtailment is accompanied by increased intake of calories from snacks. *The American journal of clinical nutrition*, 89(1), 126-133. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2008.26574>
- Nicholson, N., Soane, E., Fenton-O'Creevy, M., & Willman, P. (2005). Personality and domain-specific risk taking. *Journal of Risk Research*, 8(2), 157-176. <https://doi.org/10.1080/1366987032000123856>
- Nicola, S. M. (2016). Reassessing wanting and liking in the study of mesolimbic influence on food intake. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 311(5), R811-R840. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00234.2016>
- O'Doherty, J. P., Cockburn, J., & Pauli, W. M. (2017). Learning, reward, and decision making. *Annual review of psychology*, 68, 73-100. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010416-044216>
- Orzeł-Gryglewska, J. (2010). Consequences of sleep deprivation. *International journal of occupational medicine and environmental health*. <https://doi.org/10.2478/v10001-010-0004-9>
- Pace-Schott, E. F., Germain, A., & Milad, M. R. (2015). Effects of sleep on memory for conditioned fear and fear extinction. *Psychological bulletin*, 141(4), 835. <https://doi.org/10.1037/bul0000014>

- Palmer, C. A., & Alfano, C. A. (2017). Sleep and emotion regulation: an organizing, integrative review. *Sleep medicine reviews, 31*, 6-16. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2015.12.006>
- Patel, S. R., & Hu, F. B. (2008). Short sleep duration and weight gain: a systematic review. *Obesity, 16*(3), 643-653. <https://doi.org/10.1038/oby.2007.118>
- Patel, S. R., Malhotra, A., White, D. P., Gottlieb, D. J., & Hu, F. B. (2006). Association between reduced sleep and weight gain in women. *American journal of epidemiology, 164*(10), 947-954. <https://doi.org/10.1093/aje/kwj280>
- Pearson, N., & Biddle, S. J. (2011). Sedentary behavior and dietary intake in children, adolescents, and adults: a systematic review. *American journal of preventive medicine, 41*(2), 178-188. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2011.05.002>
- Peever, J., & Fuller, P. M. (2017). The biology of REM sleep. *Current biology, 27*(22), R1237-R1248. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.10.026>
- Pérez-Villarreal, H. H., Martínez-Ruiz, M. P., & Izquierdo-Yusta, A. (2019). Testing Model of Purchase Intention for Fast Food in Mexico: How do Consumers React to Food Values, Positive Anticipated Emotions, Attitude toward the Brand, and Attitude toward Eating Hamburgers? *Foods, 8*(9), 369. <https://doi.org/10.3390/foods8090369>
- Philip, P., Sagaspe, P., Prague, M., Tassi, P., Capelli, A., Bioulac, B., Commenges, D., & Taillard, J. (2012). Acute versus chronic partial sleep deprivation in middle-aged people: differential effect on performance and sleepiness. *Sleep, 35*(7), 997-1002. <https://doi.org/10.5665/sleep.1968>
- Pliner, P., & Hobden, K. (1992). Development of a scale to measure the trait of food neophobia in humans. *Appetite, 19*(2), 105-120. [https://doi.org/10.1016/0195-6663\(92\)90014-W](https://doi.org/10.1016/0195-6663(92)90014-W)

Polk, S. E., Schulte, E. M., Furman, C. R., & Gearhardt, A. N. (2017). Wanting and liking: Separable components in problematic eating behavior? *Appetite*, *115*, 45-53.

<https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.11.015>

Provencher, V., & Jacob, R. (2016). Impact of perceived healthiness of food on food choices and intake. *Current obesity reports*, *5*(1), 65-71. <https://doi.org/10.1007/s13679-016-0192-0>

Ralevski, E., Shanabrough, M., Newcomb, J., Gandelman, E., Hayden, R., Horvath, T. L., & Petrakis, I. (2018). Ghrelin is related to personality differences in reward sensitivity and impulsivity. *Alcohol and Alcoholism*, *53*(1), 52-56. <https://doi.org/10.1093/alcalc/agx082>

Richetin, J., Perugini, M., Prestwich, A., & O'Gorman, R. (2007). The IAT as a predictor of food choice: The case of fruits versus snacks. *International Journal of Psychology*, *42*(3), 166-173. <https://doi.org/10.1080/00207590601067078>

Robinson, M. J. F., Fischer, A., Ahuja, A., Lesser, E., & Maniates, H. (2015). Roles of “wanting” and “liking” in motivating behavior: gambling, food, and drug addictions. In *Behavioral neuroscience of motivation* (pp. 105-136). Springer.

Roefs, A., & Jansen, A. (2002). Implicit and explicit attitudes toward high-fat foods in obesity. *Journal of abnormal psychology*, *111*(3), 517. <https://doi.org/10.1037/0021-843X.111.3.517>

Roepke, S. E., & Duffy, J. F. (2010). Differential impact of chronotype on weekday and weekend sleep timing and duration. *Nature and science of sleep*, *2*, 213.

Rosales-Lagarde, A., Armony, J. L., del Río-Portilla, Y., Trejo-Martínez, D., Conde, R., & Corsi-Cabrera, M. (2012). Enhanced emotional reactivity after selective REM sleep deprivation in humans: an fMRI study. *Frontiers in behavioral neuroscience*, *6*, 25. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2012.00025>

Rupp, T. L., Killgore, W. D., & Balkin, T. J. (2010). Socializing by day may affect performance by night: vulnerability to sleep deprivation is differentially mediated by social exposure in extraverts vs introverts. *Sleep*, 33(11), 1475-1485.

<https://doi.org/10.1093/sleep/33.5.1475>

Rydell, R. J., & McConnell, A. R. (2006). Understanding implicit and explicit attitude change: a systems of reasoning analysis. *Journal of personality and social psychology*, 91(6), 995.

<https://doi.org/10.1037/0022-3514.91.6.995>

Schmid, S. M., Hallschmid, M., Jauch-Chara, K., Wilms, B., Benedict, C., Lehnert, H., Born, J., & Schultes, B. (2009). Short-term sleep loss decreases physical activity under free-living conditions but does not increase food intake under time-deprived laboratory conditions in healthy men. *The American journal of clinical nutrition*, 90(6), 1476-1482.

<https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.27984>

Schneider, W., & Chein, J. M. (2003). Controlled & automatic processing: behavior, theory, and biological mechanisms. *Cognitive science*, 27(3), 525-559.

https://doi.org/10.1207/s15516709cog2703_8

Schneider, W., & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological review*, 84(1), 1.

<https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.1.1>

Schultz, W. (2000). Multiple reward signals in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 1(3), 199-207. <https://doi.org/10.1038/35044563>

Schultz, W., Dayan, P., & Montague, P. R. (1997). A neural substrate of prediction and reward. *Science*, 275(5306), 1593-1599. DOI: 10.1126/science.275.5306.1593

Schur, E., Kleinhans, N., Goldberg, J., Buchwald, D., Schwartz, M., & Maravilla, K. (2009).

Activation in brain energy regulation and reward centers by food cues varies with choice of visual stimulus. *International journal of obesity*, 33(6), 653-661.

<https://doi.org/10.1038/ijo.2009.56>

Shi, Z., McEvoy, M., Luu, J., & Attia, J. (2008). Dietary fat and sleep duration in Chinese men and women. *International journal of obesity*, 32(12), 1835-1840.

<https://doi.org/10.1038/ijo.2008.191>

Shiffrin, R. M., & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory.

Psychological review, 84(2), 127. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.2.127>

Siegel, J., & Rogawski, M. A. (1988). A function for REM sleep: regulation of noradrenergic receptor sensitivity. *Brain research reviews*, 13(3), 213-233.

[https://doi.org/10.1016/0165-0173\(88\)90007-0](https://doi.org/10.1016/0165-0173(88)90007-0)

Smink, F. R., Van Hoeken, D., & Hoek, H. W. (2012). Epidemiology of eating disorders:

incidence, prevalence and mortality rates. *Current psychiatry reports*, 14(4), 406-414.

Sobal, J., & Bisogni, C. A. (2009). Constructing food choice decisions. *Annals of behavioral medicine*, 38(suppl_1), s37-s46. <https://doi.org/10.1007/s12160-009-9124-5>

Sobal, J., Bisogni, C. A., Devine, C. M., & Jastran, M. (2006). A conceptual model of the food choice process over the life course. *Frontiers in Nutritional Science*, 3, 1.

Song, J., Feng, P., Wu, X., Li, B., Su, Y., Liu, Y., & Zheng, Y. (2019). Individual differences in the neural basis of response inhibition after sleep deprivation are mediated by

chronotype. *Frontiers in neurology*, 10, 514. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00514>

- Songa, G., & Russo, V. (2018). IAT, consumer behaviour and the moderating role of decision-making style: An empirical study on food products. *Food Quality and Preference*, 64, 205-220. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.09.006>
- Spaeth, A. M., Dinges, D. F., & Goel, N. (2013). Effects of experimental sleep restriction on weight gain, caloric intake, and meal timing in healthy adults. *Sleep*, 36(7), 981-990. <https://doi.org/10.5665/sleep.2792>
- Spiegel, K., Leproult, R., L'Hermite-Balériaux, M., Copinschi, G., Penev, P. D., & Van Cauter, E. (2004). Leptin levels are dependent on sleep duration: relationships with sympathovagal balance, carbohydrate regulation, cortisol, and thyrotropin. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 89(11), 5762-5771.
- Spiegel, K., Tasali, E., Penev, P., & Cauter, E. V. (2004). Brief communication: sleep curtailment in healthy young men is associated with decreased leptin levels, elevated ghrelin levels, and increased hunger and appetite. *Annals of internal medicine*, 141(11), 846-850.
- St-Onge, M., Wolfe, S., Sy, M., Shechter, A., & Hirsch, J. (2014). Sleep restriction increases the neuronal response to unhealthy food in normal-weight individuals. *International journal of obesity*, 38(3), 411-416. <https://doi.org/10.1038/ijo.2013.114>
- St-Onge, M.-P., McReynolds, A., Trivedi, Z. B., Roberts, A. L., Sy, M., & Hirsch, J. (2012). Sleep restriction leads to increased activation of brain regions sensitive to food stimuli. *The American journal of clinical nutrition*, 95(4), 818-824. <https://doi.org/10.3945/ajcn.111.027383>
- St-Onge, M.-P., Roberts, A. L., Chen, J., Kelleman, M., O'Keeffe, M., RoyChoudhury, A., & Jones, P. J. (2011). Short sleep duration increases energy intakes but does not change

- energy expenditure in normal-weight individuals. *The American journal of clinical nutrition*, 94(2), 410-416. <https://doi.org/10.3945/ajcn.111.013904>
- Stanley, D., Phelps, E., & Banaji, M. (2008). The neural basis of implicit attitudes. *Current Directions in Psychological Science*, 17(2), 164-170. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2008.00568.x>
- Stice, E., Yokum, S., Blum, K., & Bohon, C. (2010). Weight gain is associated with reduced striatal response to palatable food. *Journal of Neuroscience*, 30(39), 13105-13109. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2105-10.2010>
- Stunkard, A. J., & Messick, S. (1985). The three-factor eating questionnaire to measure dietary restraint, disinhibition and hunger. *Journal of psychosomatic research*, 29(1), 71-83. [https://doi.org/10.1016/0022-3999\(85\)90010-8](https://doi.org/10.1016/0022-3999(85)90010-8)
- Sundelin, T., Bayard, F., Schwarz, J., Cybulski, L., Petrovic, P., & Axelsson, J. (2019). Framing effect, probability distortion, and gambling tendency without feedback are resistant to two nights of experimental sleep restriction. *Scientific reports*, 9(1), 8554. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44237-9>
- Sundelin, T., Lekander, M., Kecklund, G., Van Someren, E. J., Olsson, A., & Axelsson, J. (2013). Cues of fatigue: effects of sleep deprivation on facial appearance. *Sleep*, 36(9), 1355-1360. <https://doi.org/10.5665/sleep.2964>
- Sutin, A. R., & Terracciano, A. (2017). Personality and Body Weight—Mechanisms, Longitudinal Associations and Context. *The Japanese Journal of Personality*, 26(1), 1-11. <https://doi.org/10.2132/personality.26.1.1>

- Taheri, S. (2006). The link between short sleep duration and obesity: we should recommend more sleep to prevent obesity. *Archives of disease in childhood*, *91*(11), 881-884.
<http://dx.doi.org/10.1136/adc.2005.093013>
- Talbot, L. S., McGlinchey, E. L., Kaplan, K. A., Dahl, R. E., & Harvey, A. G. (2010). Sleep deprivation in adolescents and adults: changes in affect. *Emotion*, *10*(6), 831.
<https://doi.org/10.1037/a0020138>
- Taylor, D. J., & McFatter, R. M. (2003). Cognitive performance after sleep deprivation: does personality make a difference? *Personality and Individual Differences*, *34*(7), 1179-1193.
[https://doi.org/10.1016/S0191-8869\(02\)00108-3](https://doi.org/10.1016/S0191-8869(02)00108-3)
- Temple, J. L., Bulkley, A. M., Badawy, R. L., Krause, N., McCann, S., & Epstein, L. H. (2009). Differential effects of daily snack food intake on the reinforcing value of food in obese and nonobese women. *The American journal of clinical nutrition*, *90*(2), 304-313.
<https://doi.org/10.3945/ajcn.2008.27283>
- Temple, J. L., Chappel, A., Shalik, J., Voley, S., & Epstein, L. H. (2008). Daily consumption of individual snack foods decreases their reinforcing value. *Eating behaviors*, *9*(3), 267-276.
<https://doi.org/10.1016/j.eatbeh.2007.10.001>
- Thorp, A. A., Owen, N., Neuhaus, M., & Dunstan, D. W. (2011). Sedentary behaviors and subsequent health outcomes in adults: a systematic review of longitudinal studies, 1996–2011. *American journal of preventive medicine*, *41*(2), 207-215.
<https://doi.org/10.1016/j.amepre.2011.05.004>
- Torrubia, R., Avila, C., Moltó, J., & Caseras, X. (2001). The Sensitivity to Punishment and Sensitivity to Reward Questionnaire (SPSRQ) as a measure of Gray's anxiety and

- impulsivity dimensions. *Personality and Individual Differences*, 31(6), 837-862.
[https://doi.org/10.1016/S0191-8869\(00\)00183-5](https://doi.org/10.1016/S0191-8869(00)00183-5)
- Trepel, C., Fox, C. R., & Poldrack, R. A. (2005). Prospect theory on the brain? Toward a cognitive neuroscience of decision under risk. *Cognitive brain research*, 23(1), 34-50.
<https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.01.016>
- van den Bos, R., Homberg, J., & de Visser, L. (2013). A critical review of sex differences in decision-making tasks: focus on the Iowa Gambling Task. *Behavioural brain research*, 238, 95-108. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2012.10.002>
- Van Der Helm, E., Yao, J., Dutt, S., Rao, V., Saletin, J. M., & Walker, M. P. (2011). REM sleep depotentiates amygdala activity to previous emotional experiences. *Current biology*, 21(23), 2029-2032. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.10.052>
- Venkatraman, V., Chuah, Y. L., Huettel, S. A., & Chee, M. W. (2007). Sleep deprivation elevates expectation of gains and attenuates response to losses following risky decisions. *Sleep*, 30(5), 603-609. <https://doi.org/10.1093/sleep/30.5.603>
- Wang, H., Wen, B., Cheng, J., & Li, H. (2017). Brain structural differences between normal and obese adults and their links with lack of perseverance, negative urgency, and sensation seeking. *Scientific reports*, 7(1), 1-7. <https://doi.org/10.1038/srep40595>
- Wardle, J., Haase, A. M., Steptoe, A., Nillapun, M., Jonwutiwes, K., & Bellis, F. (2004). Gender differences in food choice: the contribution of health beliefs and dieting. *Annals of behavioral medicine*, 27(2), 107-116.
- Waters, F., & Bucks, R. S. (2011). Neuropsychological effects of sleep loss: implication for neuropsychologists. *Journal of the International Neuropsychological Society: JINS*, 17(4), 571. <https://doi.org/10.1017/S1355617711000610>

- Weiss, A., Xu, F., Storfer-Isser, A., Thomas, A., Ievers-Landis, C. E., & Redline, S. (2010). The association of sleep duration with adolescents' fat and carbohydrate consumption. *Sleep*, 33(9), 1201-1209. <https://doi.org/10.1093/sleep/33.9.1201>
- Wilhelmsen-Langeland, A., Saxvig, I. W., Pallesen, S., Nordhus, I.-H., Vedaa, Ø., Sørensen, E., & Bjorvatn, B. (2014). The personality profile of young adults with delayed sleep phase disorder. *Behavioral sleep medicine*, 12(6), 481-492.
- Wilkinson, A. V., Gabriel, K. P., Wang, J., Bondy, M. L., Dong, Q., Wu, X., Shete, S., & Spitz, M. R. (2013). Sensation-seeking genes and physical activity in youth. *Genes, Brain and Behavior*, 12(2), 181-188. <https://doi.org/10.1111/gbb.12006>
- Womack, S. D., Hook, J. N., Reyna, S. H., & Ramos, M. (2013). Sleep loss and risk-taking behavior: a review of the literature. *Behavioral sleep medicine*, 11(5), 343-359. <https://doi.org/10.1080/15402002.2012.703628>
- Yoo, S.-S., Gujar, N., Hu, P., Jolesz, F. A., & Walker, M. P. (2007). The human emotional brain without sleep—a prefrontal amygdala disconnect. *Current biology*, 17(20), R877-R878. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.08.007>
- Young, S., Gudjonsson, G. H., Carter, P., Terry, R., & Morris, R. (2012). Simulation of risk-taking and its relationship with personality. *Personality and Individual Differences*, 53(3), 294-299. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2012.03.014>
- Zuckerman, M., & Kuhlman, D. M. (2000). Personality and risk-taking: common bisocial factors. *Journal of personality*, 68(6), 999-1029. <https://doi.org/10.1111/1467-6494.00124>

ANNEXE A

Certificats étiqes

File Number: H 04-14-04

Date (mm/dd/yyyy): 05/21/2014



Université d'Ottawa
Bureau d'éthique et d'intégrité de la recherche

University of Ottawa
Office of Research Ethics and Integrity

Ethics Approval Notice

Health Sciences and Science REB

Principal Investigator / Supervisor / Co-investigator(s) / Student(s)

<u>First Name</u>	<u>Last Name</u>	<u>Affiliation</u>	<u>Role</u>
Éric	Doucet	Health Sciences / Human Kinetics	Supervisor
Geneviève	Forest	Social Sciences / Psychology	Co-Supervisor
Jessica	McNeil	Health Sciences / Human Kinetics	Student Researcher

File Number: H 04-14-04

Type of Project: PhD Thesis

Title: The effects of sleep restriction and sleep timing on the energy balance, food reward, satiety efficiency and olfactory capacity.

Approval Date (mm/dd/yyyy)	Expiry Date (mm/dd/yyyy)	Approval Type
05/21/2014	05/20/2015	Ia

(Ia: Approval, Ib: Approval for initial stage only)

Special Conditions / Comments:

N/A



Case postale 1250, succursale HULL
Gatineau (Québec) J8X 3X7
www.uqo.ca

Notre référence: 2146

Le Comité d'éthique de la recherche a examiné le projet de recherche intitulé :

Projet: **Le sommeil et la neuropsychologie du contrôle de la prise alimentaire.**

Soumis par: Jena-François Brunet
Étudiant
Département de psychoéducation et de psychologie
Université du Québec en Outaouais

Financement: Non

Le Comité a conclu que la recherche proposée respecte les principes directeurs de la Politique d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'Université du Québec en Outaouais.

Ce certificat est valable jusqu'au: 6 avril 2016

Le président du Comité d'éthique de la recherche
André Durivage

Date d'émission: 6 avril 2015

ANNEXE B

Listes des contributions scientifiques produites pendant la période du doctorat

Revue avec comité de lecture

1. Brunet, J.-F., McNeil, J., Hintze, L. J., Doucet, E., & Forest, G. (2021). The effects of sleep restriction on food intake: Exploring the importance of interindividual characteristics. *Appetite*, Soumis.
Rôles: Conceptualisation de l'étude, collecte des données, analyse des résultats, écriture de l'article.
2. Brunet, J.-F., McNeil, J., Doucet, E., & Forest, G. (2020). The association between REM sleep and decision-making: Supporting evidences. *Physiology & Behavior*, 225, 113109.
Rôles: Conceptualisation de l'étude, collecte des données, analyse des résultats, écriture de l'article.
3. McNeil, J., Forest, G., Hintze, L. J., Brunet, J.-F., & Doucet, E. (2017). The effects of sleep restriction with altered sleep timing on olfactory performance. *European Journal of Clinical Nutrition*, 71(12), 1471.
Rôles: Collecte des données, révision de l'article.
4. Brunet, J.-F., Therrien, M., Dagenais, D., Gartenberg, D., & Forest, G. (2016). Validation of sleep-2-Peak: A smartphone application that can detect fatigue-related changes in reaction times during sleep deprivation. *Behavior Research Method*, 1-10. doi : 10.3758/s13428-016-0802-5
Rôles: Conceptualisation de l'étude, collecte des données, analyse des résultats, écriture de l'article.
5. McNeil, J., Doucet, E., Brunet, J.-F., Hintze, L. J., Chaumont, I., Langlois, E., Maitland, R., Riopel, A., & Forest, G. (2016). The effects of sleep restriction and altered sleep timing on energy intake and energy expenditure. *Physiology & Behavior*, 164, 157-163. doi : 10.1016/j.physbeh.2016.05.051
Rôles: Collecte des données, analyse d'une partie des résultats, révision de l'article.
6. McNeil, J., Forest, G., Hintze, L. J., Brunet, J.-F., Finlayson, G., Blundell, J. E., & Doucet, E. (2016). The effects of sleep restriction and altered sleep timing on appetite and food reward. *Appetite*, 109, 48-56.
Rôles: Collecte des données, révision de l'article.

Publications arbitrées dans des actes de colloque

1. Brunet, J. F., McNeil, J., Doucet, E., & Forest, G. (2019). The Importance of REM Sleep in Risk-taking Behavior: A Direct Link. *SLEEP*, A88-A89.

Rôles: Conceptualisation de l'étude, collecte des données, analyse des résultats, écriture du résumé, production et présentation d'une affiche.

2. Brunet, J.-F., McNeil, J., Hintze, L. J., Blais, C., Doucet, E., & Forest, G. (2017). The effects of sleep restriction on food intake : The importance of individual characteristics. *SLEEP*, A73.

Rôles: Conceptualisation de l'étude, collecte des données, analyse des résultats, écriture du résumé, production et présentation d'une affiche.

3. Brunet, J.-F., McNeil, J., Hintze, L. J., Doucet, E., & Forest, G. (2016). The association of chronotype and food intake after selective sleep restriction. *SLEEP*, A55.

Rôles: Conceptualisation de l'étude, collecte des données, analyse des résultats, écriture du résumé, production et présentation d'une affiche.

4. Brunet, J.-F., McNeil, J., Hintze, L. J., Doucet, E., & Forest, G. (2016). Specific personality traits associated with increased food consumption after 50% sleep restriction. *SLEEP*, A68-A69.

Rôles: Conceptualisation de l'étude, collecte des données, analyse des résultats, écriture du résumé, production et présentation d'une affiche.

5. Dagenais, D., Brunet, J.-F., Therrien, M., Gartenberg, D., & Forest, G. (2016). Is 2 minutes long enough to measure alertness variations during extended wakefulness using a new smartphone «PVT type» application? *SLEEP*, A104-A105.

Rôles: Conceptualisation de l'étude, collecte des données, analyse des résultats.

6. McNeil, J., Doucet, E., Brunet, J.-F., Hintze, L. J., Chaumont, I., Langlois, E., Maitland, R., Riopel, A., & Forest, G. (2016). The effects of partial sleep restriction and altered sleep timing on energy intake and active energy expenditure. *SLEEP*, A94.

Rôle: Collecte des données.

7. Paquin, O., Blais, C., Dagenais, D., Raymond, N., Brunet, J.-F., Fiset, D., & Forest, G. (2016). The effect of 35 hours of total sleep deprivation on the shoot/don't shoot decisions in police officers in training : preliminary analyses. *SLEEP*, A100.

Rôle: Collecte des données.

8. Therrien, M., Brunet, J.-F., Dagenais, D., Gartenberg, D., & Forest, G. (2016). Validation of sleep-2-Peak : A smartphone application that can track fatigue-related changes in reaction times during sleep deprivation. *SLEEP*, A107.

Rôles: Conceptualisation de l'étude, collecte des données, analyse des résultats

9. Brunet, J.-F., Therrien, M., Hébert, K., Tzivanopoulos, N., Gartenberg, D., & Forest, G. (2015). Greater decline in reaction time performance on a smartphone application during sleep deprivation is linked to extraversion. *SLEEP*, A139.

Rôles: Conceptualisation de l'étude, collecte des données, analyse des résultats, écriture du résumé, production et présentation d'une affiche.

10. Tzivanopoulos, N., Blais, C., Fiset, D., Raymond, N., Kokozaki, I., Brunet, J.-F., Forest, G. (2015). The impact of sleep deprivation on the trustworthiness visual representation. *SLEEP*, A123.

Rôle: Collecte des données.

ANNEXE C

Formulaire de consentement

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

Les effets de la restriction du sommeil et d'une modification dans l'heure du couché ou du réveil sur l'équilibre énergétique, la récompense liée à l'alimentation, l'efficacité d'un repas à induire la satiété et la capacité olfactive

Chercheuse principale: Jessica McNeil, M.Sc., Ph.D. (candidate)

École des sciences de l'activité physique
Université d'Ottawa
Ottawa, Ontario
Canada
K1N 6N5

Téléphone: 613-562-5800 ext. 7361

Fax: 613-562-5149

Superviseur: Drs Éric Doucet (Ph.D.)

École des sciences de l'activité physique
Université d'Ottawa
Ottawa, Ontario
Canada
K1N 6N5

Téléphone: 613-562-5800 ext. 4271 ou ext. 7364

Fax: 613-562-5149

Co-superviseure: Geneviève Forest (Ph.D.)

École de psychologie et de psychoéducation
Université du Québec en Outaouais
Gatineau, Québec
Canada
J8X 3X7

Téléphone: 819-595-3900 ext. 4434

Fax: 819-595-2250

1. INVITATION À PARTICIPER: Vous êtes invité à participer au projet de recherche nommé ci-haut, qui sera dirigé par Jessica McNeil M.Sc., Ph.D. (candidate), et ses superviseurs Dr. Éric Doucet (Ph.D.) et Dr. Geneviève Forest (Ph.D.). Cette étude fait partie de la thèse de doctorat à Jessica McNeil. Ce formulaire de consentement vous sera expliqué. Vous pouvez aussi choisir de l'apporter à la maison afin de le relire et en discuter en plus de détails avec vos ami(e)s et/ou les membres de votre famille.

2. OBJECTIF DE L'ÉTUDE: L'objectif de ce projet de recherche est de mesurer les effets d'une réduction de 50% de la durée habituelle du sommeil, ainsi que les effets d'un ancrage de la période de restriction de sommeil au début ou plus tard dans la nuit, sur la récompense liée à la

prise alimentaire, l'efficacité d'un repas à induire la satiété, la capacité olfactive, la prise alimentaire et la dépense énergétique mesurés le lendemain. De plus, la récompense liée à la prise alimentaire, la prise alimentaire et la dépense énergétique seront mesurées pour une 2^{ème} journée suivant 1 nuit de récupération du sommeil (à la suite de 1 nuit de restriction du sommeil).

3. MISE EN CONTEXTE: La restriction du sommeil et le fait d'aller se coucher plus tard dans la soirée (communément appelé une personne "couche-tard") ont été associés à une plus grande prise alimentaire et à la consommation accrue de collation tard le soir/après le souper. Les facteurs liés à la durée du sommeil et l'heure du coucher qui pourraient potentiellement faire varier la prise alimentaire sont inconnus. Des études sont donc nécessaires pour évaluer la récompense liée à la prise alimentaire, la capacité olfactive et l'efficacité d'un repas à induire la satiété comme facteurs pouvant potentiellement expliquer ces variations dans la prise alimentaire suivant une nuit de restriction de sommeil et une nuit avec une heure de couché tard. Les mesures prises pendant cette étude comprendront la composition corporelle, la prise alimentaire, la qualité du sommeil, la capacité olfactive (comme l'habileté à identifier certaines odeurs), ainsi que certaines évaluations psychologiques liées à l'alimentation. Les résultats de cette étude nous permettront de déterminer si la récompense liée à la prise alimentaire, la capacité olfactive et l'efficacité d'un repas à induire la satiété sont des facteurs pouvant potentiellement expliquer les variations dans la prise alimentaire et les préférences pour la consommation de collations en fin de soirée suivant une nuit de restriction de sommeil qui ont déjà été notées dans différentes études. Enfin, la mesure des effets d'une modification dans l'heure du coucher ou l'heure du réveil, en plus de la durée du sommeil, sur les changements potentiels dans la prise alimentaire, la dépense énergétique, la capacité olfactive, l'efficacité d'un repas à induire la satiété et la récompense liée à la prise alimentaire nous permettra de déterminer si le moment du couché affecte l'équilibre énergétique (équilibre entre la prise alimentaire et la dépense énergétique) d'une manière similaire à celle de la durée du sommeil. Compte tenu de la grande prévalence de gens dans la société d'aujourd'hui qui ne dorment pas assez longtemps et/ou qui vont se coucher tard, les résultats de cette étude nous permettront de fournir des messages de santé publique qui pourront avoir des effets positifs sur le bilan énergétique, ainsi que nous permettre de déterminer les facteurs potentiels pouvant affecter le bilan énergétique (par exemple, la récompense liée à la prise alimentaire et la qualité du sommeil).

4. DESCRIPTION DE L'ÉTUDE:

Visite initiale: Lors de cette visite, vous serez informé du déroulement de chaque séance expérimentale et on procédera à la signature du formulaire de consentement. Les équipements qui seront utilisés afin d'obtenir les données nécessaires vous seront aussi présentés. Un questionnaire de personnalité, le NEO-PI3, vous sera remis afin que vous puissiez le remplir à la maison. Ce test de personnalité comprend 240 questions avec des échelles likert qui mesure 5 différents traits de personnalité: Extraversion (e.g. assertivité, recherche d'activités ou de sensations excitantes), Agréabilité (e.g. confiance, modestie), Conscience (e.g. sens du devoir, autodiscipline), Ouverture aux Expériences (e.g. idées, sentiments et émotions), ainsi que le névrosisme (e.g. anxiété, impulsivité). Nous récupérerons ce questionnaire lors de notre prochaine rencontre.

Session préliminaire (Environ 3 heures)

Votre poids (balance numérique), taille (stadiomètre standard), composition corporelle (absorption biophotonique à rayons X) et dépense énergétique de repos (calorimétrie indirecte) seront évalués au début de cette session. Ensuite, vous serez invité à compléter l'échelle de somnolence Epworth pour évaluer votre niveau de somnolence habituelle et le questionnaire de chronotype pour évaluer votre moment de sommeil habituelle (par exemple, si vous êtes plutôt une personne "lève-tôt" ou "couche tard"). Il vous sera aussi demandé de compléter un questionnaire sur vos habitudes alimentaires, qui mesure votre degré de restriction alimentaire, la consommation alimentaire incontrôlée et votre niveau de faim habituel, ainsi qu'un questionnaire qui évalue votre degré de sensibilité à différentes récompenses ou punitions (par exemple, votre réaction à l'argent, la popularité sociale, votre niveau de timidité). Par la suite, on vous servira un déjeuner comprenant du pain de blé entier (pain grillé), de la confiture aux framboises, du beurre d'arachide crémeux, du fromage cheddar et du jus d'orange. Vous aurez 15 minutes pour manger ``autant ou aussi peu que vous voulez`` de ce repas. Par la suite, on vous demandera de compléter un test d'association implicite. Ce test psychologique sur ordinateur vous demandera de catégoriser des items similaires en 2 catégories opposées (e.g. associer le mot "merveilleux" à positif et le mot "haine" à négatif). Cette tâche en particulier va inclure 6 tours: 1-aliments étiquetés comme étant "santé" (e.g. concombre, pomme) et "pas santé" (e.g. beigne, chips), 2-mots étiquetés comme étant "positif" (e.g. amour, merveilleux) et "négatif" (e.g. douleur, haine), 3- mots avec aucune association émotionnelle (e.g. crayon, chandail) et des chiffres (e.g. 1, 2). Les prochains 3 tours vont alterner ces associations, où vous allez devoir associer, par exemple, le mot crayon au numéro 1, ou le mot beigne à santé. Finalement, il vous sera demandé de porter un accéléromètre autour de votre bras et de remplir un journal de sommeil pendant 14 jours afin d'évaluer vos habitudes de sommeil typiques. Vous devez porter cet accéléromètre 24 heures par jour, même lorsque vous dormez. Toutefois, vous devez l'enlever si vous entrez en contact avec l'eau (lorsque vous prenez un bain, une douche ou vous allez vous baigner), car cet appareil n'est pas résistant à l'eau.

Trois sessions expérimentales (environ 54 heures chacune, ce qui inclut 18 heures dans le laboratoire, avec le temps de sommeil, et 36 heures à l'extérieur du laboratoire)

Voici une description détaillée des différentes méthodes/consignes utilisées lors de chaque session expérimentale:

A. Arrivé au laboratoire (3 heures avant l'heure prévue pour vous coucher)—Pour chaque session expérimentale, vous serez invité à arriver au laboratoire 3 heures avant l'heure prévue pour vous coucher. Ceci sera déterminée à partir de l'heure moyenne à laquelle vous vous êtes couché lors des 14 jours évalués avec l'accéléromètre et l'agenda du sommeil. On vous demandera également de laver vos cheveux pour enlever les huiles et tous produits (par exemple, du fixatif à cheveux) avant le début de chaque session expérimentale.

B. Mesure du sommeil à l'intérieur du laboratoire (Environ 8-10 heures)—Un ruban à mesurer sera utilisé pour mesurer la circonférence de votre tête afin de correctement placer chaque électrode au bon endroit sur votre tête. Six électrodes seront placées sur la tête, 2 électrodes seront placées sur l'apophyse (derrière chaque oreille), 2 électrodes seront placées sur le menton, 2 électrodes seront placées sur le côté latéral de chaque œil et 1 électrode sera placée

au centre du front (un total de 13 électrodes). Ces électrodes seront attachées aux endroits désignés avec un gel qui peut être facilement enlevé avec 1-2 applications de shampoing/savon. Les électrodes seront également liées à un appareil de polysomnographie portable avec des fils en plastique, ce qui permettra d'évaluer différents paramètres du sommeil (par exemple la durée et l'efficacité du sommeil) lorsque vous dormez. Ces électrodes seront enlevées le lendemain matin au réveil et vous aurez l'occasion de prendre une douche à ce moment. Finalement, vous serez invités à évaluer vos sentiments actuels de somnolence sur une échelle visuelle analogue (ancrée par Alerte/Pas du tout somnolent- Endormi/Très somnolent) avant et après votre heure de couché, ainsi que 30 minutes après votre réveil lors de chaque session.

Pendant les séances de restriction de sommeil, il y aura quelques heures pendant la nuit au cours desquelles vous aurez besoin de rester éveillé. Il y aura au moins une autre personne au laboratoire avec vous pendant ce temps (la chercheuse principale et/ou 2 autres étudiantes aidant avec la collecte de données). Pendant ce temps, vous aurez la chance de prendre part à tout type d'activité, à l'exception de l'exercice, pour vous garder occupé (par exemple, des travaux d'école, lire un livre, regarder un film, parler avec la personne s'occupant de la collecte des données). Il est donc recommandé que vous apportiez des items de la maison pour vous garder occupé pendant ce temps (par exemple, ordinateur portable, films). Vous aurez également accès à un téléphone et à l'Internet sans fil à l'intérieur du laboratoire. Enfin, vous devez apporter votre pyjama (ou les vêtements que vous voulez porter pendant la nuit) lors de chaque session expérimentale. Vous pouvez aussi apporter un oreiller (ceci est facultatif, des oreillers seront disponibles dans le laboratoire, mais vous pouvez apporter votre propre oreiller si vous le désirez).

**SVP notez que vous serez invité à dormir à l'intérieur du laboratoire pour 1 nuit supplémentaire avant la première session expérimental seulement. Cette 1^{ière} session dans le laboratoire sera suivie par une nuit de sommeil à la maison, qui sera utilisé comme une nuit de récupération dans les cas où vous ne dormiez peut-être pas très bien lors de votre 1^{ière} nuit passé au laboratoire avec les électrodes. Ces nuits d'habituations sont utilisées pour diminuer l'inconfort que vous pouvez peut-être ressentir en dormant à l'intérieur du laboratoire avec les électrodes. De plus, au cours de la première nuit d'habituations seulement (dans le laboratoire), vous serez invité à porter 2 électrodes supplémentaires sur le tibia de 1 jambe (partie inférieure de la jambe) afin d'évaluer si vous avez des troubles de mouvement périodique de la jambe. Vous serez également invité à porter un appareil capteur d'air nasal et oral et un oxymètre afin de détecter la présence de troubles de respirations liés au sommeil au cours de la première nuit d'habituations seulement. L'appareil capteur d'air nasal et oral consiste simplement en un fil en plastique avec un capteur qui sera placé horizontalement entre votre nez et votre bouche (au-dessus de votre lèvre supérieure) pour mesurer votre rythme respiratoire. Ce fil en plastique sera attaché à vos joues avec deux petits morceaux de ruban adhésif. Ce fil de plastique sera également attaché au polysomnogram (comme les électrodes). Pour ce qui est de l'oxymètre, il s'agit d'un petit capteur qui sera enroulé autour de l'un de vos index (soit de la main droite ou gauche). Il n'y a aucun risque associé au port de ces appareils lorsque vous dormez.

**SVP notez que vous serez enregistré par vidéo lorsque vous dormez à l'intérieur du laboratoire. L'appareil vidéo sera incliné de façon à ce que seule la moitié supérieure du lit peut être vue par la personne s'occupant de la collecte de données à l'extérieur de la chambre. Cette

procédure est utilisée afin de déterminer les causes potentielles de toutes les activités anormales qui pourraient être observées sur les lectures de polysomnographie (par exemple, si vous sortez du lit ou si une électrode se détache pendant que vous dormez). Cette méthode sera aussi utilisée comme moyen de communication avec la personne s'occupant de la collecte de données (par exemple, si vous avez besoin d'aide, si vous voulez utiliser la salle de bain ou si vous voulez quitter la salle). SVP notez que cette vidéo ne sera pas utilisée dans d'autres circonstances. Cette vidéo sera visionnée "en direct", sans être enregistré sur un autre support.

C. Mesures anthropométriques, consommation d'un déjeuner standard et mesures de l'appétit (Environ 3.5 heures)— Votre poids et votre taille seront mesurés après votre douche le lendemain matin. Vous recevrez un déjeuner standard environ 1.5 heures après le réveil qui contiendra les mêmes quantités de chaque aliment que vous avez consommé lors de la session préliminaire. Vous aurez 15 minutes pour consommer ce repas au complet. De plus, vous serez invité à répondre à 4 questions spécifiques qui permettent de quantifier les sensations d'appétit (désir de manger, la faim, la satiété et la consommation alimentaire éventuel) en utilisant des échelles visuelles analogues de 150 millimètres qui seront administrées avant, immédiatement après (temps 0), et à chaque 30 minutes pour 3 heures (30, 60, 90, 120, 150 et 180 minutes) après la consommation du déjeuner standard.

D. Test d'association implicite (Environ 20-30 minutes)— On vous demandera de compléter un test d'association implicite. Ce test psychologique sur ordinateur vous demandera de catégoriser des items similaires en 2 catégories opposées (e.g. associer le mot "merveilleux" à positif et le mot "haine" à négatif).

E. Questionnaire intitulé ``Leeds Food Preference Questionnaire`` (Environ 15 minutes)— Cette tâche fournit des mesures du désir ("wanting") et de l'appréciation ("liking") pour des images d'aliments qui vous seront présentées sur un écran d'ordinateur. Au cours de la partie à "choix forcé" du test, deux images d'aliment vous seront présentées simultanément. Vous serez invité à choisir les aliments que vous avez «le plus envie de manger maintenant" au cours de chaque essai. Le désir et l'appréciation pour chaque image seront mesurés à tour de rôle sur une échelle visuel analogue de 100 millimètres (ancré par Pas du tout-Extrêmement), basée sur les questions suivantes: «Combien voulez-vous consommez cet aliment maintenant? "et" Combien serait-il agréable de prendre une bouchée de cet aliment maintenant?", respectivement. Cette tâche sera effectuée à 60 minutes et 180 minutes suivant la consommation du déjeuner, et suivant la consommation du dîner.

F. Questionnaire mesurant l'effort émis pour obtenir un item préféré (Environ 15-30 minutes)— Vous serez invité à compléter une tâche sur ordinateur pour évaluer la quantité de travail effectuée pour un item préféré (collation préférée ou du temps consacré à un activité sédentaire préféré comme lire un livre, écouter de la musique, regarder la télévision). Vous serez assis en face d'un ordinateur portable qui vous présentera 2 jeux de type machine à sous: l'une est utilisée pour gagner des points pour obtenir votre collation préférée et l'autre est utilisée pour gagner des points pour obtenir votre activité sédentaire préférée. Pour obtenir des points, vous devez appuyer sur un bouton de la souris lorsque le curseur est placé sur le jeu de type machine à sous de votre choix, ce qui commencera le jeu. Des points seront accumulés lorsque les trois objets sur l'écran seront pareils. Pour chaque 5 points gagnés, vous recevrez une portion (100

kilocalories) de votre collation préférée ou 10 minutes de temps alloué à votre activité sédentaire préféré. Cette tâche prendra fin lorsque vous ne souhaitez plus gagner des points pour obtenir ces récompenses. Cette tâche aura lieu après le questionnaire intitulé "Leeds Food Preference Questionnaire" administré à 180 minutes suivant la consommation du déjeuner.

G. Mesure de la capacité olfactive (Environ 30 minutes)— Vous serez invité à compléter 3 différents tests d'odeurs, soit un test du seuil olfactif, un test de discrimination de l'odeur et un test d'identification de l'odeur. Pour le test du seuil olfactif, un ensemble de 3 capsules vous seront présentées une à la suite de l'autre, et vous devrez identifier laquelle présente une odeur (les 2 autres capsules sont inodores). En ce qui a trait au test de discrimination de l'odeur, un ensemble de 3 capsules vous seront présentées une à la suite de l'autre, et vous devrez identifier laquelle présente une odeur différente (les 2 autres capsules ont la même odeur). Finalement, pour le test d'identification de l'odeur, vous allez avoir un livret contenant des réponses à choix multiples sur chaque page (une page correspond à une capsule d'odeur). Vous allez devoir identifier l'odeur qui a été libérée par la capsule, en vous basant sur les réponses à choix multiples qui vous seront fournies. Des exemples d'odeurs incluent une rose, un crayon feutre, une banane, et de l'herbe.

H. Tâche de pari ("gambling") Iowa (Environ 10 minutes)— On vous demandera de participer à la tâche de pari ("gambling") Iowa, qui est une tâche psychologique qui stimule la prise de décision réelle et l'impulsivité lorsque présenté avec un scénario de pari ("gambling"). Vous serez présenté avec 4 jeux de cartes différents sur un écran d'ordinateur, et 2000 points pour débiter le jeu. Ces points ne sont pas associés à une récompense ou une valeur réelle (e.g. la bouffe, l'argent). Un jeu de carte sera choisi au hasard lors de chaque tour, et vous aurez 4 secondes pour décider de soit jouer avec ce jeu de carte, ou bien passer la chance de jouer ce jeu de carte. Le programme sélectionnera au hasard 1 des 4 jeux de cartes à tour de rôle pour un total de 120 tours.

I. Mesure de la prise alimentaire au dîner, pour le reste de la journée et le jour suivant (Environ 1.5 heures dans le laboratoire et 36 heures à l'extérieur du laboratoire)— La prise alimentaire sera évaluée avec un repas offert suite à toute les évaluations de l'appétit (environ 3.5 heures après la consommation du déjeuner standard). Vous allez devoir sélectionner les items qui composeront ce repas à partir d'un menu alimentaire qui contient 57 aliments et boissons différents. Une fois que les items sélectionnés seront préparés et servis, vous aurez 30 minutes pour consommer "autant ou aussi peu que vous voulez" des aliments que vous avez sélectionnés. Ensuite, vous serez invité à sélectionner les aliments présentés sur le menu que vous voudriez consommer après avoir quitté le laboratoire (par exemple, à la maison ou au travail) pour le restant de la journée et le lendemain (jusqu'à votre heure de couché habituel à la fin du 2^{ième} jour). Les aliments sélectionnés seront ensuite préparés, pesés et placés dans des contenants à boîte à lunch pour que vous puissiez les apporter à la maison avec vous. Il est important que vous consommiez seulement les aliments et les boissons dans ces boîtes à lunch pour le reste de la journée et le lendemain. Vous serez également invité à ramener chaque contenant de boîte à lunch avec tous les restes d'aliments et les déchets (par exemple, les pelures de fruits et les emballages) avec vous au laboratoire le 3^{ième} jour (une fois que toutes les mesures ont été complétées).

J. Mesure de la dépense énergétique et du sommeil (mesuré lors de la 2^{ième} nuit à la maison) pour le reste de la journée et le lendemain à l'extérieur du laboratoire (Environ 36 heures à l'extérieur du laboratoire)—Il vous sera demandé de porter un accéléromètre autour de votre bras pour le reste de la journée et le lendemain (jusqu'à votre heure de couché habituel à la fin du 2^{ième} jour) afin d'évaluer votre dépense énergétique pendant ce temps, ainsi que certains paramètres de sommeil (par exemple la durée et l'efficacité du sommeil) à la maison lors de la 2^{ième} nuit. Vous devez porter cet accéléromètre pendant 24 heures par jour, incluant lorsque vous dormez. Toutefois, vous devez enlever l'accéléromètre si vous entrez en contact avec l'eau (lorsque vous prenez un bain, une douche ou vous allez vous baigner), car cet appareil n'est pas résistant à l'eau.

**_Vous ne devrez pas faire de sieste pour le reste de la 1^{ère} journée de testing, une fois que vous quittez le laboratoire. Il est très important que vous suiviez ces instructions, car faire une ou plusieurs siestes au cours de la journée, surtout après les conditions de restriction de sommeil, peut biaiser les résultats. Toutefois, vous êtes invités à vous reposer si vous vous sentez au point que votre sécurité ou celle des autres soit menacée.

5. RISQUES PRÉVISIBLES/INCOMFORTS:

Les risques associés à ce projet sont faibles et ne présentent pas de danger pour la santé. La mesure de la composition corporelle présente un risque faible pour vous. Cependant, cet appareil va vous exposer à une radiation minimale (l'équivalent d'une journée au soleil - 0.02 à 0.05 millirem).

Vous allez probablement sentir un certain degré de fatigue à la suite des deux protocoles de restriction de sommeil. Toutefois, afin de minimiser les effets que cela peut avoir sur vos activités de tous les jours, chaque session expérimentale sera fixée en fonction de vos disponibilités. Il est aussi suggéré que vous planifier ces sessions expérimentales lors des jours où vous n'avez pas plusieurs obligations/tâches importantes à accomplir le lendemain (par exemple, des réunions de travail importantes ou étudier pour un examen). Les sessions expérimentales peuvent également être prévues lors de n'importe quel jour de la semaine.

Le test de polysomnographie, ainsi que le port d'électrodes sur la tête et les jambes lorsque vous dormez, présente peu de risques. Cependant, vous pouvez vous sentir un peu mal à l'aise ou inconfortable lorsque vous allez dormir avec les électrodes placées sur votre tête en plus d'être à l'intérieur du laboratoire, soit dans un environnement différent de la maison. Deux nuits d'habitation (1 à l'intérieur du laboratoire et 1 à la maison) seront employées pour réduire tout sentiment d'inconfort que vous pourriez possiblement ressentir et vous donner un peu de temps pour vous habituer à dormir avec les électrodes à l'intérieur du laboratoire. La chercheuse principale et/ou 2 autres étudiants qui aideront avec la collecte de données seront présents à l'extérieur de la chambre où vous allez dormir et pourront s'occuper de tous problèmes ou préoccupations qui pourraient avoir lieu (par exemple, une électrode se détache lorsque vous dormez). Cette personne va lire régulièrement les relevés de polysomnographie et regarder la caméra vidéo afin de s'assurer que vous dormez bel et bien dans le lit. Un lavabo et une toilette sont situés dans la chambre, ce qui veut dire que vous n'aurez pas besoin de quitter la salle pour aller aux toilettes (dans cette circonstance, vous serez invité à signaler à la personne responsable

de la collecte de données afin qu'il/elle puisse enlever le polysomnogramme portable de son support, vous permettant ainsi de marcher librement en transportant les fils des électrodes avec vous). De plus, si vous avez besoin de parler avec la personne s'occupant de la collecte de données ou de quitter la salle pour une raison quelconque, vous serez autorisé à le faire (vous serez invité à signaler à la personne s'occupant de la collecte de données si vous avez besoin d'aide ou si vous voulez quelque chose). Vous pouvez également ressentir un léger inconfort à l'idée d'être filmé lorsque vous dormez à l'intérieur du laboratoire. Cependant, il est important de noter que la caméra vidéo sera inclinée de façon à ce que seule la moitié supérieure du lit peut être vue par la personne s'occupant de la collecte de données à l'extérieur de la chambre, ce qui pourrait aider à réduire la sensation d'inconfort que vous pourriez peut-être ressentir.

Il peut y avoir une légère rougeur aux endroits où les électrodes ont été placées qui peut être causée soit par le frottement de la peau avec un gel avant de placer chaque électrode, ou encore par la pression exercée par les électrodes pendant le sommeil. Cette rougeur présente peu de risques pour vous et disparaît généralement 1-2 heures après avoir enlevé les électrodes.

Enfin, il n'y a pas de risques associés à l'utilisation des autres équipements/outils proposés pour ce projet de recherche (porter un accéléromètre, la mesure de la dépense énergétique au repos via la calorimétrie indirecte, la mesure de la capacité olfactive, ainsi que compléter le menu alimentaire, les échelles visuelles analogues, le questionnaire "Leeds Food Preference Questionnaire", la tâche de pari ("gambling") Iowa, le test d'association implicite et le questionnaire mesurant l'effort émis pour obtenir un item préféré).

6. AVANTAGES:

Les tests que vous accepterez de faire seront gratuits. Il en va de même pour le stationnement au centre de recherche. Chaque participant recevra une évaluation individuelle de ses résultats, qui comprendra une analyse de la composition corporelle, la dépense énergétique au repos et l'évaluation de votre équilibre énergétique totale, ainsi qu'une évaluation objective de votre qualité et de votre efficacité de sommeil. Vous recevrez également des commentaires sur les résultats généraux de l'étude lorsque la collecte de données sera complétée.

7. CONFIDENTIALITÉ ET ANONYMAT:

Afin de garantir la confidentialité et l'anonymat des participants, toutes les précautions et mesures nécessaires seront prises afin d'assurer que les résultats et les informations personnelles des participants soient conservés avec la confidentialité la plus sévère.

- Seules les personnes suivantes auront accès au matériel qui pourrait lier le nom des participants aux résultats obtenus lors de cette étude: Les superviseurs et la chercheuse principale. Tout autre individu impliqué dans l'étude n'aura pas accès aux informations personnelles des participants.
- Les noms des participants n'apparaîtront dans aucun rapport. Un code numérique sera utilisé pour identifier les participants dans tous les documents de recherche.
- Tous les matériaux et l'information qui peuvent être associés aux participants ne seront pas disponibles au public et seront conservés avec la confidentialité la plus sévère.

- Les participants ne seront pas identifiés dans les publications ou rapports.
- Les données recueillies seront gardées dans une armoire verrouillée à l'Unité de Recherche sur le Comportement et le Métabolisme, dans un local à accès limité. De plus, les documents sur ordinateur seront protégés par un mot de passe.
- Il est possible que certaines données recueillies lors de cette étude soient utilisées pour des analyses de données secondaires et dans l'écriture de papiers ultérieurs pour lesquels les objectifs principaux seront différents de ceux mentionnés dans ce présent formulaire de consentement.
- Toutes les données recueillies, que ce soit utilisées pour répondre aux objectifs de recherche présenté dans ce formulaire de consentement ou pour des analyses secondaires ultérieures, seront détruites 5 ans après la publication de ces résultats.

8. PARTICIPATION VOLONTAIRE

Vous avez le choix de refuser de participer à cette étude. Si vous choisissez de participer, vous pouvez vous retirer de l'étude en tout temps pour toute raison. À tout moment lors de cette étude, les intérêts des participants vont prévaloir sur les objectifs de l'étude. Les participants seront mis au courant des nouvelles découvertes qui pourraient influencer leurs décisions de vouloir participer à cette étude.

Toutes informations au sujet de vos droits en tant que participant peuvent être adressées au : Responsable de la déontologie en recherche, Université d'Ottawa, 550 rue Cumberland, Pavillon Tabaret, salle 154, Ottawa, Ontario, K1N 6N5; Tél. : 613-562-5387, Courrier électronique : ethics@uottawa.ca.

Advenant des questions au sujet de la conduite du projet de recherche, vous pouvez contacter la chercheuse principale, **Jessica McNeil**, jmcne097@uottawa.ca, au **613-562-5800 ext: 7361**.

Il y a 2 copies du formulaire de consentement dont 1 que vous pouvez garder.

SVP choisir une des options ci-dessous:

Si je choisis de me retirer de l'étude, je veux que toutes les données recueillies à mon sujet soient détruites.

Même si je choisis de me retirer de l'étude, j'accepte que les données recueillies à mon sujet soient utilisées pour cette étude.

Signature des superviseurs

Eric Doucet, Ph.D.: _____ Date: _____

Geneviève Forest, Ph.D.: _____ Date:

Signature de la chercheuse principale

Jessica McNeil, M.Sc., Ph.D. (candidate): _____ Date:

signature du participant:

J'accepte de participer dans cette étude.

_____ Date:

Nom imprimé Signature

ANNEXE D

Déjeuner standard

Food Item	# or name in the food processor	Amount to serve at lunch	Weight before (g)	Weight after (g)	Total weight consumed (g)
Whole wheat bread	brown bread d'italiano	4 slices			
Peanut butter	Smooth peanut butter	60 g			
Strawberry jam	Smuckers strawberry jam	60 g			
Cheddar cheese	Cracker Barrel marble cheese	4 slices			
Orange juice	Tropicana orange juice	250 grams (or 2 cups)			

ANNEXE E

Epworth Sleepiness Scale

Échelle de Somnolence d'Epworth

Vous arrive-t-il de somnoler ou de vous endormir (dans la journée) dans les situations suivantes? Même si vous n'êtes pas trouvés récemment dans l'une de ces situations, essayez d'imaginer comment vous réagiriez et quelles seraient vos chances d'assoupissement.

Utilisez cette échelle afin de choisir le sentiment le plus approprié pour chaque situation:

0 = si c'est exclu. «Il ne m'arrive jamais de somnoler: aucune chance

1 = si ce n'est pas impossible. «Il y a un petit risque»: faible chance

2 = si c'est probable. «Il pourrait m'arriver de somnoler»: chance moyenne

3 = si c'est systématique. «Je somnolerais à chaque fois»: forte chance

Il est important que vous encerclez un chiffre (0 à 3) pour CHAQUE situation.

SITUATION	DEGRÉ DE SOMNOLENCE			
Pendant que vous êtes occupés à lire un document	0	1	2	3
Devant la télévision	0	1	2	3
Assis inactif dans un lieu public (salle d'attente, théâtre, réunion)	0	1	2	3
Passager depuis au moins 1 heure sans interruptions d'une voiture ou d'un transport commun (train, autobus)	0	1	2	3
Allongé pour une sieste lorsque les circonstances le permettent	0	1	2	3
En position assise au cours d'une conversation avec quelqu'un	0	1	2	3
Tranquillement assis à la fin d'un repas (sans alcool)	0	1	2	3
Au volant d'une voiture immobilisée depuis quelques minutes dans un embouteillage	0	1	2	3

SCORE TOTAL:

0-7: Vous n'avez pas de trouble (manque) de sommeil.

8-9: Vous avez un niveau moyen de somnolence.

10-15: Vous avez un déficit de sommeil. Il serait bien de consulter un médecin.

16-24: Vous présentez des signes de somnolence diurne excessive. Vous devriez consulter un médecin.

ANNEXE F

Morningness-Eveningness Questionnaire

Consignes:

- Veuillez lire très attentivement chacune des questions avant de répondre.
- Répondez le plus honnêtement possible à chacune des questions.
- Répondez à TOUTES les questions.
- Chacune des questions doit être répondue indépendamment des autres. Ne revenez PAS sur les questions antérieures pour vérifier vos réponses.

1. Si vous étiez entièrement libre de planifier vos journées, à quelle heure vous lèveriez-vous spontanément, si votre seul objectif était de vous sentir bien?

5h00 – 6h30	5
6h30 – 7h45	4
7h45 – 9h45	3
9h45 – 11h00	2
11h00 – 12h00 midi	1
12h00 midi – 5h00	0

2. Si vous étiez entièrement libre de planifier vos journées, à quelle heure vous coucheriez-vous spontanément, si votre seul objectif était de vous sentir bien?

20h00 – 21h00	5
21h00 – 22h15	4
22h15 – 00h30	3
00h30 – 1h45	2
1h45 – 3h00	1
3h00 – 8h00	0

3. Lorsque vous devez vous lever à une heure spécifique le matin, à quel point dépendez-vous d'un réveil-matin pour vous réveiller ?

Pas du tout dépendant(e)	4
Un peu dépendant(e)	3
Assez dépendant(e)	2
Très dépendant(e)	1

4. Est-il facile de vous lever le matin?

Pas du tout facile	1
Pas très facile	2
Assez facile	3
Très facile	4

5. Sentez-vous alerte durant la première demi-heure suivant votre réveil le matin?

Pas du tout alerte	1
Pas très alerte	2
Assez alerte	3
Très alerte	4

6. Comment est votre appétit durant la première demi-heure suivant votre réveil le matin?

Très pauvre	1
Plutôt pauvre	2
Plutôt bon	3
Très bon	4

7. Durant la première demi-heure suivant votre réveil le matin, à quel point vous sentez-vous fatigué(e)?

Très fatigué(e)	1
Plutôt fatigué(e)	2
Plutôt reposé(e)	3
Très reposé(e)	4

8. Lorsque vous n'avez aucun engagement pour la journée suivante, vous couchez-vous plus tard qu'à votre heure habituelle?

Rarement ou jamais plus tard	4
Moins d'une heure plus tard	3
1 à 2 heures plus tard	2
Plus de 2 heures plus tard	1

9. Vous avez décidé de faire du sport 2 fois par semaine avec un(e) ami(e) qui est disponible uniquement entre 7h00 et 8h00 le matin. En ne tenant compte que de la façon dont vous vous sentez à cette heure de la journée, comment pensez-vous que vous allez performer?

Je serais en bonne forme	4
Je serais raisonnablement en forme	3
Je trouverais cela difficile	2
Je trouverais cela très difficile	1

10. À quelle heure de la soirée sentez-vous la fatigue et le besoin de dormir?

20h00 – 21h00	5
21h00 – 22h15	4
22h15 – 00h45	3
00h45 – 2h00	2
2h00 – 3h00	1

11. Vous voulez atteindre votre meilleure performance dans un test qui sera mentalement très exigeant et durera 2 heures. Vous êtes entièrement libre de planifier votre journée et de déterminer le moment du test. A quelle heure choisirez-vous de faire le test pour être à votre meilleur?

8h00 – 10h00	4
11h00 – 13h00	3
15h00 – 17h00	2
19h00 – 21h00	1

12. Si vous alliez vous coucher à 23h00, à quel point vous sentirez-vous fatigué(e)?

Pas du tout fatigué(e)	1
Un peu fatigué(e)	2
Assez fatigué(e)	3
Très fatigué(e)	4

13. Si vous vous couchez plusieurs heures plus tard que d'habitude et que vous n'avez aucune obligation le lendemain, qu'est-ce qui vous semble le plus probable?

Je vais me réveiller à l'heure habituelle et je ne me rendormirai pas	4
Je vais me réveiller à l'heure habituelle et je sommeillerais légèrement par la suite	3
Je vais me réveiller à l'heure habituelle et je me rendormirai ensuite	2
Je vais me réveiller plus tard que d'habitude	1

14. Vous devez rester réveillé(e) entre 4h00 et 6h00 du matin pour une surveillance de nuit et vous n'avez aucun engagement pour la journée suivante. Lequel des choix suivants vous conviendrait le plus?

Je n'irai pas me coucher avant que la surveillance soit terminée et je dormirais ensuite	1
Je ferais une sieste avant la surveillance et dormirais plus longtemps après	2
Je dormirais principalement avant la surveillance et je ferais une sieste après	3
Je dormirais avant la surveillance et je ne me recoucherais pas ensuite	4

15. Vous avez à faire 2 heures de travail physique intense et vous êtes entièrement libre de planifier votre journée. En considérant uniquement la façon dont vous vous sentez pendant la journée, laquelle des périodes suivantes choisiriez-vous pour le faire?

8h00 – 10h00	4
11h00 – 13h00	3
15h00 – 17h00	2
19h00 – 21h00	1

16. Vous avez décidé de faire du sport 2 fois par semaine avec un(e) ami(e) qui est disponible uniquement entre 22h00 et 23h00 le soir. En ne tenant compte que de la façon dont vous vous sentez à cette heure de la journée, comment pensez-vous que vous allez performer?

Je serais en bonne forme	1
Je serais raisonnablement en forme	2
Je trouverais cela difficile	3
Je trouverais cela très difficile	4

17. Supposons que vous puissiez choisir vos propres heures de travail, que vous travaillez cinq heures par jour (en incluant les pauses) et que votre travail est intéressant et payé en fonction de votre rendement. Quelles sont les cinq heures consécutives de travail que vous choisiriez? (Faites 1 choix dans 1 case).

5 heures commençant entre 4h00 et 8h00	5
5 heures commençant entre 8h00 et 9h00	4
5 heures commençant entre 9h00 et 14h00	3
5 heures commençant entre 14h00 et 17h00	2
5 heures commençant entre 17h00 et 4h00	1

18. À quelle heure de la journée vous sentez-vous "à votre meilleur"? (Faites 1 choix dans 1 case).

5h00 – 8h00	5
8h00 – 10h00	4
10h00 – 17h00	3
17h00 – 22h00	2
22h00 – 5h00	1

19. On parle de gens "du matin" (ou "lève-tôt") et gens "du soir" (ou "couche-tard"). Dans quelle catégorie vous rangez-vous?

Nettement parmi les "gens du matin"	6
Plutôt parmi les "gens du matin" que parmi les "gens du soir"	4
Plutôt parmi les "gens du soir" que parmi les "gens du matin"	2
Nettement parmi les "gens du soir"	0

L'addition des points pour chaque question donne un score entre 16 et 86: score de 41 et moins indique une personne "du soir ou couche-tard" score de 59 et plus indique une personne "du matin ou lève-tôt" score entre 42-58 indique "type intermédiaire ou entre les deux"

ANNEXE G

Questionnaire maison

Version pour homme

Merci d'avoir démontré de l'intérêt envers cette étude. Nous avons quelques questions afin de déterminer votre éligibilité à participer à cette étude.

Questions	Yes	No
Quel âge avez-vous? _____		
Êtes-vous un fumeur?		
Est-ce que vous avez un indice de mass corporel (IMC) entre 18.5 et 27.0 kg/m ² ?		
Avez-vous un emploi qui demande que vous travaillé des quarts de travail (shift) à différents moments de la journée?		
Avez-vous déjà souffert de problèmes cardiaques ou avez déjà ressenti des symptômes suggérant un problème cardiaque?		
Êtes-vous diabétique?		
Est-ce que vous avez des troubles de sommeil (e.g. apnée du sommeil, syndrome des jambes sans repos)? Si oui, spécifiez: _____		
Est-ce que vous prenez des médicaments? Si oui, spécifiez: _____		
Quelle est la durée <i>habituelle</i> de votre sommeil? _____	NA	NA
À quelle heure allez-vous <i>habituellement</i> vous couché? _____	NA	NA
À quelle heure levez-vous habituellement? _____	NA	NA
Avez-vous connu une variation dans votre poids au cours des 6 derniers mois ? Si oui, <u>combien</u> ? _____		
Suivez-vous une <u>diète</u> ?		
Avez-vous des allergies alimentaires Si oui, lesquelles _____		

Version pour femme

Merci d'avoir démontré de l'intérêt envers cette étude. Nous avons quelques questions afin de déterminer votre éligibilité à participer à cette étude.

Questions	Yes	No
<u>Quel âge avez-vous?</u> _____		
<u>Êtes-vous un fumeur?</u>		
Est-ce que vous avez un indice de mass corporel (IMC) entre 18.5 et 27.0 kg/m ² ?		
Avez-vous un emploi qui demande que vous travaillé des quarts de travail (shift) à différents moments de la journée?		
Avez-vous déjà souffert de problèmes cardiaques ou avez déjà ressenti des symptômes suggérant un problème cardiaque?		
<u>Êtes-vous diabétique?</u>		
Est-ce que vous avez des troubles de sommeil (e.g. apnée du sommeil, syndrome des jambes sans repos)? Si oui, spécifiez:		
Est-ce que vous prenez des médicaments? Si oui, spécifiez: _____		
Quelle est la durée <i>habituelle</i> de votre sommeil? _____	NA	NA
À quelle heure allez-vous <i>habituellement</i> vous couché? _____	NA	NA
À quelle heure levez-vous habituellement? _____	NA	NA
Avez-vous connu une variation dans votre poids au cours des 6 derniers mois ? Si oui, <u>combien?</u> _____		
<u>Suivez-vous une diète?</u>		
Avez-vous des allergies alimentaires Si oui, lesquelles _____		
<u>Êtes-vous enceinte?</u>		
Quelle est la durée habituelle de votre cycle menstruel? _____ jours Est-ce que vous avez vos menstruations à chaque mois?		

ANNEXE I

Menu validé

Choix d'aliments

- Bagel Nature
 - Bagel Blé Entier
 - Pain Blanc
 - Pain Blé

 - Orange
 - Pomme
 - Banane
 - Compote aux pommes

 - Raisin Bran
 - Corn Flakes
 - Croque Nature
 - Cheerios Miel et Noix

 - Barre Tendre Val Nature
 - Barre Tendre Enrobées de Chocolat avec Pépites de Chocolat (Chewy Quaker)
 - Barre Tendre aux Fraises Nutri-Grain

 - Jus de Pomme Tropicana
 - Jus d'Orange Tropicana
 - Pepsi
 - 7up

 - Skittle
 - Kit Kat
 - Caramilk
 - Chocolat Hershey aux Amandes
 - Chocolat Noir 85% (Lindt)
 - Biscuits avec Pépites de Chocolat

 - Croustille Nature Lays
 - Croustille BBQ Lays
- Eau
 - Lait 1%
 - Lait 2%
 - Lait au Chocolat

 - Beurre
 - Yogourt 0% Silhouette
 - Yogourt 1.5% Danone

 - Piment Rouge
 - Bébé Carotte
 - Concombre
 - Trempette au Ranch

 - Fromage cheddar
 - Fromage Mozzarella en tranche

 - Biscuit Breton Original
 - Craquelins aux Riz Original

 - Pizza aux Trois Fromages
 - Lasagne à la Viande
 - Cannelloni aux Trois Fromages
 - Poulet Grillé Marinara
 - Poulet Sucré Sésame
 - Bœuf Teriyaki

 - Soupe aux Légumes
 - Soupe Poulet Nouille
 - Soupe aux Bœufs et Légumes

 - Beurre d'Arachide Crémeux
 - Fromage à la Crème
 - Confiture aux Fraises

 - Moutarde
 - Mayonnaise
 - Ketchup