



Université de Liège
Faculté de Psychologie, Logopédie et Sciences de l'Éducation

Impact de la lumière sur le fonctionnement cognitif
Dissociation de l'impact entre les processus cognitifs automatiques et contrôlés
dans une tâche de mémoire et leur interaction avec la lumière.

Sous la direction de Mme Fabienne Collette et Mme Christina Schmidt

Lecteurs :

M. Jaspar Mathieu

M. Benjamin Kowialewski

Mémoire présenté par Manon Hamacher
En vue de l'obtention du diplôme de Master en Neuropsychologie

Avant toute chose, je souhaiterais remercier toutes les personnes qui m'ont aidée et soutenue dans la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord, bien entendu, je remercie mes promotrices Fabienne Collette et Christina Schmidt pour leur dévouement et leur disponibilité dans ce projet et pour m'avoir initiée au travail de recherche scientifique. Un énorme merci tout particulier à Christina Schmidt qui m'a guidée et motivée à chaque étape de cette aventure, et sans qui ce travail n'aurait pas été possible.

Je remercie aussi bien entendu les amis et autres participants qui se sont portés volontaires pour participer à l'étude, parfois au pied levé, alors qu'elle nécessitait beaucoup d'investissement et de rigueur, et qui ont tenu le coup jusqu'au bout.

Également, je remercie mon compagnon et ma famille de m'avoir soutenue et aidée dans les moments difficiles.

Pour finir, plus largement, je remercie mes professeurs de m'avoir transmis leurs connaissances et les compétences nécessaires au métier de neuropsychologue que j'espère exercer très prochainement, et duquel je suis tombée sous le charme.

Merci à toutes les personnes que j'ai rencontrées durant ces années universitaires d'avoir fait de ma scolarité ce qu'elle est aujourd'hui : une aventure remplie de rires et d'amitiés qui resteront à jamais dans ma mémoire et mon cœur.

TABLE DES MATIÈRES

I. INTRODUCTION THÉORIQUE	5
1. FONCTION VISUELLE DE LA LUMIÈRE (HATORI, 2010).....	5
2. INFLUENCE PHYSIOLOGIQUE DE LA LUMIÈRE	6
a. <i>La mélanopsine</i>	6
b. <i>Facteurs impactant l'influence lumineuse</i>	6
c. <i>Influence sur le rythme circadien</i>	10
d. <i>Influence sur la sécrétion de la mélatonine</i>	10
e. <i>Influence sur la sécrétion de cortisol</i>	11
f. <i>Influence sur les capacités d'alerte</i>	11
3. INFLUENCE COGNITIVE DE LA LUMIÈRE	12
4. APPLICATION DES EFFETS DE LA LUMIERE	13
5. PROCESSUS MNÉSQUES AUTOMATIQUES ET CONTRÔLÉS.....	16
a. <i>Mémoire implicite automatique</i>	16
b. <i>Mémoire explicite contrôlée</i>	17
c. <i>Procédure de dissociation (Jennings et Jacoby, 1993)</i>	17
6. BUTS ET HYPOTHÈSES	19
II. MÉTHODOLOGIE	21
1. PARTICIPANTS	21
2. PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL.....	23
3. MESURES ET TESTS.....	25
a) <i>Echantillon salivaire</i>	25
b) <i>Vigilance objective et subjective</i>	25
c) <i>Confort Visuel</i>	26
d) <i>Tâche de Stroop</i>	26
e) <i>Tâche mnésique (Adam, 2003)</i>	27
4. ANALYSES STATISTIQUES.....	28

III. RÉSULTATS	29
1. MÉLATONINE ET CORTISOL	29
<i>a) Mélatonine</i>	<i>29</i>
<i>b) Cortisol</i>	<i>30</i>
2. VIGILANCE.....	30
3. SOMNOLENCE SUBJECTIVE ET CONFORT VISUEL	32
4. PROCESSUS AUTOMATIQUES ET CONTRÔLÉS	33
<i>a) Relations entre conditions lumineuse et type de tâche.....</i>	<i>33</i>
<i>b) Relations entre la condition lumineuse, le type de tâche et le type d'item</i>	<i>34</i>
<i>c) Relations entre le type de processus, la condition de lumière, et le type</i>	<i>34</i>
<i>d'item.....</i>	<i>34</i>
IV. DISCUSSION	35
1. DISCUSSION À PROPOS DE LA MÉLATONINE ET DU CORTISOL	35
2. DISCUSSION À PROPOS DE LA VIGILANCE.....	38
3. DISCUSSION À PROPOS DE LA SOMNOLENCE SUBJECTIVE.....	39
4. DISCUSSION À PROPOS DU CONFORT VISUEL.....	40
5. DISCUSSION À PROPOS DE LA TÂCHE DE MÉMOIRE PDP.	40
6. DISCUSSION RELATIVE AU DISPOSITIF LUMINEUX LUMINETTES ©.....	42
7. LIMITES.....	43
V. CONCLUSION.....	44

I. Introduction théorique

La lumière n'est aujourd'hui plus considérée comme uniquement dévolue à la vision. Au contraire, elle est connue pour agir sur une multitude de fonctions biologiques « non visuelles », à tel point que même des personnes aveugles répondent physiologiquement aux stimuli lumineux sans même voir la lumière (Cajochen, 2007). Parmi ces fonctions, nous retrouvons les fonctions circadiennes, la thermorégulation, les réflexes pupillaires, mais aussi les fonctions neuroendocriniennes via lesquelles la lumière transmet un signal stimulant l'éveil et la cognition (Vandewalle, 2014), en modifiant le taux de sécrétion d'hormones comme la mélatonine ou le cortisol. (Cajochen, 2007). Une forte lumière pendant la nuit peut supprimer la mélatonine, élever la température corporelle, réduire la sensation de sommeil et augmenter l'alerte (Revell, 2006).

La lumière trouve une utilisation clinique non négligeable. Son utilisation thérapeutique, la luminothérapie, est utilisée contre la dépression, particulièrement la dépression saisonnière, les troubles de l'humeur, les troubles du sommeil, etc., mais aussi pour résoudre les problèmes engendrés par des voyages intercontinentaux, tels que le « jet lag ». Les effets de la luminothérapie, et donc de la lumière elle-même, peuvent être observés de façon directe, mais aussi à long terme.

1. Fonction visuelle de la lumière (Hatori, 2010)

Bien que la fonction visuelle ne soit plus considérée comme seule fonction de la lumière, il s'agit là d'une fonction principale chez l'Homme et beaucoup d'autres êtres vivants. Notre rétine est composée de trois types de photorécepteurs principaux : les cônes, les bâtonnets et les cellules ganglionnaires rétinienne (ces derniers seront décrits dans le point 2.a.). Ces cellules sont extrêmement sensibles à la lumière, sa force, son orientation et sont à la base de la formation d'image visuelle. Ces photorécepteurs détectent la lumière entrant dans la rétine de l'œil grâce à leur photosensibilité, induisant des voies de transduction de signal et provoquent des changements adaptatifs physiques comme la contraction ou la dilatation de la pupille selon que l'environnement est plus ou moins lumineux. Chaque type de photorécepteur est sensible à des photopigments propres, contenant une protéine « opsine » associée à un type de vitamine A appelé le 11-cis rétinol, et peut être identifié grâce à cette spécificité. Par exemple, la protéine « rhodopsine », responsable de la vision nocturne, est spécifique aux bâtonnets alors que les protéines correspondantes à la vision des couleurs primaires (rouge, vert et bleu) sont propres aux cônes qui se déclinent en trois types : les cônes S (short wavelength), les cônes M (medium wavelength) et les cônes L (long wavelength) chacun captant toutes les longueurs d'onde tout en étant plus sensibles à certaines selon leur type. L'interaction entre le photon lumineux et le photorécepteur transforme le 11-cis rétinol en trans-rétinol et permet le mécanisme de phototransduction qui permettra les régulations physiologiques. L'information sera ensuite transmise au cortex visuel en passant par le corps géniculé latéral.

2. Influence physiologique de la lumière

a. La mélanopsine

Les propriétés influentes de la lumière sur l'alerte, les performances et l'humeur sont étudiées depuis seulement une vingtaine d'années, alors que Berson et al. ont détecté un nouveau type de photorécepteur qui aurait un grand rôle dans les effets « non visuels » de la lumière : les cellules ganglionnaires rétiniennes (Cajochen, 2007).

Ces cellules expriment la mélanopsine, un photopigment particulièrement sensible aux longueurs d'onde ~480nm, ce qui correspond à la partie bleue du spectre lumineux. Elles reçoivent des afférences en provenance des cônes et des bâtonnets de la rétine, et ces afférences, ajoutées à la sensibilité des cellules ganglionnaires rétiniennes, se projettent dans les zones cérébrales sous-corticales, expliquant les effets « non visuels » de la lumière sur le cerveau humain (Vandewalle, 2014). De par leur sensibilité particulière, ces cellules font partie d'un système « secondaire », à part du système visuel en tant que tel. La découverte de ces cellules peut aussi expliquer pourquoi des personnes partiellement ou totalement aveugles peuvent rester capables de réponse pupillaire et endocrinienne relatives à la perception lumineuse (Czeisler et al., 1995). Il est cependant nécessaire que les yeux soient ouverts pour pouvoir bénéficier des effets de la lumière, que ce soit par rapport aux performances cognitives ou aux effets sur l'éveil et les rythmes circadiens (Cajochen, 2005).

La mélanopsine est un composant spécifique du système photoréceptif de l'horloge biologique interne (Ruby, 2002), il s'agit du seul photopigment de l'œil absolument nécessaire aux réponses circadiennes à la lumière et on la trouve exclusivement dans la rétine (Hattar et al., 2002). Une étude menée sur des souris a démontré que, chez ces animaux, la mélanopsine n'était pas essentielle à un entrainement circadien, mais qu'elle facilite grandement les réponses : 40% de différence entre les souris déficientes en mélanopsine et les souris saines. Sans être essentielle, elle apparaît dès lors néanmoins comme un contributeur très significatif aux fonctions circadiennes. Les auteurs de cette étude suggèrent également que la mélanopsine, bien que fonctionnant comme un photopigment, pourrait s'avérer importante pour le fonctionnement normal et optimal d'autres photopigments (Ruby, 2002), comme la « retinaldéhyde isomérase » (Chen, 2001 ; Satchidananda, 2002).

b. Facteurs impactant l'influence lumineuse

Il existe des facteurs modulant l'impact de la lumière sur le fonctionnement cognitif. Il peut s'agir de facteurs « physiques » comme la longueur d'onde ou la durée d'exposition, mais aussi de facteurs « biologiques » comme l'âge ou la qualité du sommeil. Par exemple, il est possible que la lumière ait un plus grand impact sur les personnes ayant des difficultés avec le manque de sommeil, ou qu'un environnement lumineux adapté permette aux personnes âgées une meilleure qualité de vie.

Tout d'abord, en adéquation avec les cellules ganglionnaires rétiniennes, la longueur d'onde de la lumière utilisée est un facteur primordial de l'efficacité de la stimulation. En effet, dans l'article de C. Cajochen (2007) portant sur l'effet de la lumière sur l'alerte, il est décrit que les sujets exposés à une lumière bleue (460nm) se sentaient moins fatigués que les sujets exposés à une lumière verte (555nm). On observe d'ailleurs sur ces sujets une diminution de la densité de puissance EEG dans la gamme delta- thêta (« gamme du sommeil »). Aussi, dans l'étude de Chellappa SL, et al. (2011), on observe une dépendance de la longueur d'onde dans la suppression de la mélatonine : de l'exposition à la lumière « froide » (enrichie en bleu, mais non monochromatique) résulte une sécrétion significativement atténuée de la mélatonine dans la salive. Cet effet est particulièrement présent après 90 minutes d'exposition et il persiste après l'exposition (ici durant la phase « post-light » durant 30min). Les lumières monochromatiques ne sont donc pas les seules à montrer des effets, les lumières enrichies (comme la lumière enrichie en bleu) apportent également ces effets. Cette affirmation est encore illustrée par l'étude de Chellappa et al (2011) qui ont comparé deux lumières fluorescentes (6500K et 2500K) à une lampe incandescente (3000K) sur une durée d'exposition de 2 heures en soirée, et ont observé que la lumière enrichie en bleue à 6500K avait un effet plus important que les autres en ce qui concerne la suppression de la mélatonine et les mesures d'alerte.

Outre la longueur d'onde, un autre paramètre à considérer lorsqu'on parle d'effet de la lumière est son intensité. En effet, la plupart des études visant à examiner l'effet de la lumière sur l'alerte utilisent des lumières d'une intensité d'environ 1000 lux, et ce, car la toute première démonstration d'un effet physiologique de la lumière, qui fut découverte par Lewy en 1980, a montré qu'il fallait au moins cette intensité de lumière blanche pour avoir un effet de suppression de la mélatonine (ou « hormone du sommeil ») chez une personne saine. L'intensité lumineuse habituelle d'une pièce étant de 100 à 200 lux, celle-ci n'aurait, à priori, pas d'effet sur le niveau de mélatonine. Cependant, Zeitzer et al. (2000) ont notamment étudié la relation entre intensité lumineuse et rythme circadien. Pour ce faire, ils ont exposé des sujets à une lumière blanche pendant 6h au début du cycle de sommeil et ont déterminé que la réponse circadienne à une exposition sature aux alentours de 550 lux pour le changement de phase circadienne et que le plus gros changement s'observe entre 50 et 160 lux. Aussi, la moitié des effets obtenus sous une exposition de lumière intense (9100 lux) surviennent déjà sous 100 lux. Ces résultats démontrent que, contrairement aux affirmations de Lewy (1980), la luminosité ambiante d'une pièce a bel et bien des effets sur notre système circadien. De plus, d'après Chellappa et al. (2011), il est possible d'avoir des effets sur les capacités d'alerte avec lumière enrichie en bleu (6500K) à une intensité plutôt faible de 40lux. Plus tard, dans une étude menée par Revell et al. (2006), il a été découvert que l'effet d'alerte serait maximal sur de très courtes longueurs d'onde (~420nm, 440nm, 470nm et 600nm) avec une intensité faible. En effet, il semblerait que la lumière avec la plus courte longueur d'onde (420nm) est plus stimulante que celle d'une longueur d'onde de 470nm alors même lorsque la quantité de photons atteignant la rétine est deux fois moins importante, ce qui pourrait signifier que le facteur « longueur d'onde » est plus prépondérant que le facteur « intensité », du moins en ce qui concerne les effets sur l'alerte.

Un troisième facteur pouvant influencer sur l'impact de la lumière est la durée d'exposition à celle-ci. En effet, que l'exposition soit d'une durée de quelques minutes ou de plusieurs heures, il paraît sensé de penser que l'impact en sera changé. Dans les études animales, il a été démontré que l'exposition à de brèves impulsions lumineuses pouvait modifier le rythme circadien, de manière plus efficace dans les premières minutes d'exposition. Chez l'homme, ces mêmes expositions devaient être répétées pendant plusieurs jours consécutifs pour produire des effets (Gronfler, 2004). Dewan et al (2011) ont étudié l'impact de la lumière selon différentes intensités et durées d'exposition et ont démontré que plus l'exposition était longue, plus elle induisait de décalage du rythme circadien, même lorsqu'elles étaient de moindre intensité que les expositions courtes. Une autre étude a montré qu'une exposition de plusieurs heures durant 3 jours permet de décaler les rythmes circadiens de la température interne du corps, de la sécrétion de mélatonine et de cortisol, de l'état d'alerte et de la propension à la performance jusqu'à 12 heures (Eastman et al 1995). Chellappa et al. (2011) ont aussi réussi à démontrer dans leur étude que l'effet de la lumière sur les capacités d'alerte est le plus efficace avec des lampes fluorescentes (6500K) après 90 minutes d'exposition (à une intensité relativement faible de 40 lux, rappelons-le). Récemment, il a été étudié que l'exposition à une lumière vive (10000 lux) durant une durée de 0.2 heure, 1.0 heure, 2.5 heures ou 4.0 heures au sein d'une période d'éveil de 16h agissait sur les rythmes circadiens de sorte que la durée la plus courte était approximativement 5 fois plus efficace dans la modification du cycle que la durée la plus longue. Les résultats des différentes études cités ci-dessus démontrent que les effets sont différents en fonction des durées d'exposition et suggèrent que la lumière peut être utilisée de manière thérapeutique de manière directe ainsi que sur le long terme.

Un quatrième facteur susceptible de modifier l'effet de la lumière est le moyen via lequel la lumière est diffusée. Dans la littérature, la lumière n'est pas toujours diffusée de la même manière dans toutes les études. Par exemple, la lumière peut provenir d'une boîte lumineuse composée de 6 ampoules fluorescentes (Warman et al., 2003), de lampes fluorescentes blanches disposées directement au plafond propageant une lumière uniforme dans la pièce expérimentale, filtrée ou non (Zeitzer, 2000), ou via des lunettes spéciales comme dans notre étude. On peut facilement imaginer que les différentes façons d'administrer la lumière jouent sur la manière dont celle-ci arrive à l'œil. En effet, prenons le cas de lumières en provenance du plafond, l'arrivée des photons dans la rétine ne sera pas identique selon que le sujet regarde directement la source lumineuse, devant lui, ou encore le sol : l'intensité lumineuse parvenant bel et bien à la rétine pourrait être différente de l'intensité initialement déterminée par les ampoules. En ce qui concerne les boîtes lumineuses, le sujet doit regarder directement la source lumineuse, mais la façon dont la lumière arrive à l'œil peut être modifiée par un simple petit changement de direction du regard, d'ailleurs, Warman et al (2003) demande à leurs participants de tourner la tête à certains moments de l'exposition afin de contrôler un peu plus ce facteur.

Un autre facteur pourrait être le moment de la journée à laquelle on administre le stimulus lumineux. La plupart des études sur le sujet administrent le stimulus relatif durant la nuit. Il est vrai que compte tenu du fait que c'est le moment où les signaux relatifs au sommeil sont envoyés, c'est à ce moment que les effets de la lumière devraient être les plus visibles, voire les plus importants. En effet, comme la lumière, nous le verrons plus loin, agit sur la sécrétion de

la mélatonine en la supprimant, il est normal que cet effet n'apparaisse que lorsque cette neurohormone est présente dans l'organisme. En fait, d'une manière générale, la lumière agit sur les marqueurs circadiens des périodes de sommeil afin de les réduire, au point, comme vu précédemment, de pouvoir les décaler, par conséquent il est logique qu'elle ait ses meilleurs effets lors de cette période. Cependant, certaines études se sont tout de même intéressées à l'effet lumineux en journée. C'est par exemple le cas de l'étude de Vandewalle et al (2006) qui ont étudié l'effet de la lumière de jour en utilisant l'imagerie fonctionnelle par résonance magnétique (fMRI), après une courte exposition à une vive lumière blanche. Les résultats de cette étude montrent une amélioration de la vigilance subjective corrélée avec des réponses cérébrales en provenance du thalamus postérieur, une augmentation des réponses dans plusieurs zones corticales et un blocage des diminutions d'activité observées usuellement lors d'obscurité prolongée. Ces réponses cérébrales se sont montrées particulièrement dynamiques : elles ont diminué dans les minutes suivant l'exposition, mais de manière différente selon les régions cérébrales. Ceci suggère que la lumière peut moduler l'activité cérébrale sous-corticale de la vigilance et favoriser l'activité des réseaux impliqués dans les processus cognitifs non visuels en cours.

Pour finir, on peut regrouper en un même facteur toutes les différences individuelles comme l'âge ou le chronotype. En ce qui concerne les chronotypes, il s'agit des préférences individuelles concernant les cycles d'éveil-sommeil et les moments de performances cognitives : un individu peut être plutôt « du matin » ou plutôt « du soir » et ces tendances peuvent devenir extrêmes et sont le résultat de différences interindividuelles dans l'expression des signaux circadiens. Via une fMRI, on a pu démontrer que le chronotype influe sur l'activité cérébrale, par exemple, chez les individus « du soir », on observe un maintien de l'activité cérébrale en soirée, alors que chez les individus « du matin » le signal d'éveil est plus faible et réduirait l'activité cérébrale (Schmidt et al., 2012 ; Gaggioni et al., 2014). Selon que les sujets soient de l'un ou l'autre chronotype, l'effet de la lumière devrait s'en trouver modifié, puisqu'il est optimal lors de certaines phases, si celle-ci est administrée au même moment pour des sujets ayant des chronotypes différents, surtout au niveau des chronotypes extrêmes qui voient leurs phases circadiennes décalées par rapport aux chronotypes non extrêmes. Pour les différences individuelles liées à l'âge, Daneault et al. ont énoncé que les personnes âgées voyaient l'impact de la lumière réduit, bien que toujours présent, par rapport aux individus plus jeunes, au sein de structures cognitives comme le cortex préfrontal, l'insula, l'amygdale et le thalamus qui sont des structures-clés de l'alerte et de la cognition. Il semblerait également que l'impact soit lié aux changements de la régulation veille-sommeil survenant chez les personnes âgées, qu'ils en soient les causes ou les conséquences. De plus, le taux de mélatonine sécrétée est moindre dans le vieillissement normal (Reiter, 1995), ce qui pourrait également expliquer les différences de sensibilité aux effets lumineux. Il se pourrait aussi, concernant les tâches cognitives, que les personnes âgées compensent les difficultés d'une tâche déjà difficile et par conséquent ne bénéficient pas de la lumière de façon optimale (Gaggioni, 2014). En plus de la sensibilité réduite à laquelle seraient sujettes les personnes âgées, il se pourrait qu'elles soient aussi affectées par des changements dans le fonctionnement cellulaire de leur système circadien (Asai et al, 2001) ou encore d'une altération de la réponse des structures influencées par ce système, comme la zone réticulée ou la glande pinéale (Freyheit, 2009).

c. Influence sur le rythme circadien

Chez l'homme, les systèmes physiologiques et comportementaux sont influencés par le rythme circadien et ses différentes phases. Ces rythmes sont naturellement induits par la lumière du jour et essentiellement régulés par des neurones hypothalamiques, comprenant les noyaux supra-chiasmatiques. Il est à noter que, une fois établie, la synchronisation peut persister en l'absence d'indices environnementaux. Les rythmes circadiens oscillent, et sont identifiables grâce à certains marqueurs de référence au sein de ces oscillations, par exemple le taux de mélatonine ou le rythme de température corporelle. On peut donc déterminer la phase circadienne en mesurant l'un de ces marqueurs. C'est la lumière ambiante qui module les cycles et les marqueurs, et ces phases routinières, qui ont été établies et mesurées lors de conditions constantes, apparaissent comme distinctes des différents patterns observés lorsque les conditions sont manipulées via des stimuli périodiques, ce qui prouve bien une réponse réactionnelle envers ces stimuli (Czeisler et Gooley, 2007).

Sur Terre, l'horloge circadienne d'une majorité d'espèces, y compris l'Homme, se synchronise selon le cycle jour/nuit d'une durée de 24 heures : il s'agit de l'entraînement des cycles circadiens. Bien que, comme précisé ci-dessus, l'horloge circadienne soit persistante, il est tout de même possible de la modifier. Duffy et al. (1996) ont en effet réalisé une étude dans laquelle ils ont modifié les horaires des événements quotidiens d'un groupe de sujet, en comparaison avec un groupe contrôle. Pour ce faire, le groupe expérimental était soumis à une vive lumière la nuit pendant 10 jours. Au final, ce groupe a vu son rythme circadien modifié de façon à ce qu'il corresponde au rythme imposé par le cadre de l'expérience (mesure du marqueur circadien « température corporelle »).

d. Influence sur la sécrétion de la mélatonine

La mélatonine est une hormone neuronale, sécrétée par la glande pinéale, reflétant le rythme circadien : sa sécrétion coïncide avec le moment où la température corporelle est maximale, correspondant à la fin du cycle de maintien de l'éveil, pour atteindre son maximal 2 à 3 heures avant la température corporelle minimale correspondant à la période de coucher (Czeisler, 2007). Comme il s'agit de réguler l'activité corporelle en fonction de la luminosité et de sa durée, les changements saisonniers concernant la longueur des jours modulent le cycle de sécrétion de la mélatonine de sorte que le pic est plus long en hiver et plus court en été. Ce phénomène explique les changements photopériodiques concernant, par exemple, la physiologie, le système immunitaire et la reproduction (Arendt, 2008 ; Arendt, 2005).

La littérature concernant l'influence de la lumière sur le sommeil (et par extension, l'éveil) a démontré que le sommeil était plus efficace lorsqu'il coïncidait avec le cycle circadien durant lequel la mélatonine est sécrétée. Inversement, le réveil est meilleur lorsqu'il survient lors d'un épisode circadien où la mélatonine n'est pas sécrétée (Dijk et al, 1997). La mélatonine joue donc un rôle indéniable sur le sommeil, et Czeisler et Gooley (2007) ont d'ailleurs posé l'hypothèse qu'une administration externe de mélatonine pourrait améliorer l'efficacité du sommeil. Cette hypothèse a été testée dans une étude en double-aveugle dont les résultats ont

montré qu'une administration de mélatonine (0.3 mg ou 5.0mg) 30 minutes avant le coucher affectait le sommeil de telle sorte que ses participants gagnaient 30 minutes de sommeil par rapport au groupe placebo qui ne recevait pas de mélatonine lorsqu'ils dormaient pendant une phase circadienne durant laquelle ils ne sécrétaient pas de mélatonine. Par contre, si la mélatonine était administrée pendant une phase de sécrétion naturelle, l'administration n'avait aucun effet (Wyatt et al., 2006). En concordance avec ces résultats, la mélatonine montre des effets soporifiques lorsqu'elle est administrée en journée, lorsque la mélatonine est normalement totalement absente (Dollins et al. 1994). Aussi, suivant le même principe, il est possible de modifier la période de sommeil par une administration quotidienne de mélatonine pendant plusieurs jours consécutifs, suivie d'une position allongée et d'une lumière tamisée, avançant de ce fait une grande partie de marqueurs circadiens (Rajaratnam, 2003).

Une suppression de la sécrétion de mélatonine grâce à la lumière bleue conduit à une amélioration cognitive immédiate au niveau de l'alerte et des performances. Une des preuves que l'effet immédiat provient de la suppression spécifique de la mélatonine se situe dans le fait que les effets d'une exposition à une lumière verte (~555nm) sont moindres que lorsqu'il s'agit d'une lumière bleue (~460nm) (Cajochen et al. 2005).

e. Influence sur la sécrétion de cortisol

Cette hormone est également synchronisée avec le système circadien, mais contrairement à la mélatonine, son taux est maximal tôt le matin et signe la fin du cycle de sommeil, préparant l'éveil et l'activité de l'individu (Czeisler, 2007). L'augmentation de cortisol est d'ailleurs indépendante de toute modification posturale : passer d'une position horizontale à une position verticale ne modifie pas sa sécrétion. Par contre, une exposition lumineuse matinale augmente le taux de cortisol sécrété lors du pic de cortisol et disparaît dans l'heure. Par contre, l'exposition lumineuse nocturne ne fait pas varier le cortisol. Cette hormone est donc plus sensible au moment de la journée que ne l'est la mélatonine (Scheer, 1999).

f. Influence sur les capacités d'alerte

L'alerte est la disposition à l'attention et à l'éveil. Il est possible de la mesurer par des échelles de mesure subjectives telles que la « Stanford Sleepiness Scale » (SSS) ou comme dans cette étude la « Karolinska Sleepiness Scale » (KSS). Les capacités d'alerte de l'homme sont liées aux rythmes circadiens (16h d'éveil et 8h de sommeil) et varient selon plusieurs facteurs, tels que l'influence environnementale ou l'activité physique (Cajochen et al., 2014). Selon Kleitman, l'alerte serait reliée au rythme de la température du corps, atteignant son maximum en soirée et son minimum au petit matin, ainsi qu'au taux de mélatonine. Comme ces derniers varient en fonction du rythme circadien, on peut alors lier directement les capacités d'alerte à l'horloge interne d'un individu. Aussi, si les fonctions circadiennes sont influencées et peuvent être modifiées par l'environnement lumineux, alors on peut admettre que la lumière, par extension, influe sur l'alerte (Wyatt, 1999).

3. Influence cognitive de la lumière

L'influence la plus intéressante dans le cadre de cette étude est la stimulation exercée sur les fonctions cognitives. En effet, il a été démontré qu'une exposition lumineuse a un large impact sur les performances à des tâches cognitives mettant en jeu des processus tels que l'inhibition, le shifting et la mise à jour, mais aussi la mémoire à court et long terme ainsi que les processus attentionnels.

Dans l'article de C. Cajochen (2007), il est décrit que, comparé aux sujets exposés à la lumière verte (555nm), on observe chez les sujets exposés à la lumière bleue (460nm) une diminution des temps de réaction à des stimuli auditifs, et moins d'échecs attentionnels. D'ailleurs, de récentes données fMRI soutiennent le fait que la lumière module l'activité cérébrale de régions telles que l'hypothalamus, le thalamus et l'amygdale, en bref, des régions incluses dans le réseau cortical et sous-cortical durant des tâches cognitives spécifiques, notamment les tâches auditives. Il semblerait que les régions sous-corticales sont activées plus rapidement et montrent des réponses durant moins longtemps comparées aux régions corticales qui, elles, requièrent une stimulation plus forte et plus longue.

Chellappa et al. (2011) ont eux aussi démontré que la lumière enrichie en bleu augmente les performances cognitives lors de tâches d'attention soutenue, aussi, les tâches simples comme les tâches de temps de réaction ou les séries d'additions-soustractions peuvent directement être améliorées après une exposition lumineuse nocturne. Par contre, les auteurs n'ont pas trouvé de résultats significatifs concernant les bénéfices sur des tâches cognitives nécessitant un plus haut niveau exécutif. Dans cette même étude, un résultat interpelant est la corrélation importante entre le niveau de mélatonine contenu dans la salive et la rapidité des temps de réaction dans les tâches d'attention soutenue de sorte que moins de mélatonine mesurée dans la salive corresponde à un temps de réaction plus rapide à des tâches telles que le PVT et le Go/No-Go.

G. Vandewalle (2014) explique également que la lumière a un impact très important sur l'activité cérébrale qui sous-tend l'intention, mais pas seulement. Elle peut être combinée à des processus de mise à jour et de comparaison, la mémoire de travail ou le traitement de stimulations émotionnelles. La lumière semble aussi avoir un effet assez rapide sur le tronc cérébral, au niveau des noyaux de la formation réticulée constituant le système activateur ascendant reprenant les deux régions intéressantes mentionnées dans la partie précédente. Ceci peut être expliqué par le fait que, tout comme l'hypothalamus, ces noyaux ont des projections monosynaptiques vers toutes les zones du cortex et pourraient facilement répercuter l'influence de la lumière dans tout le cerveau.

Au niveau cortical, l'influence lumineuse dépend de la tâche en cours. Ainsi les modulations des régions corticales dépendent des processus requis et activés par la tâche. Par exemple, lors d'une tâche de mémoire de travail avec des composantes exécutives, ce seront les régions pariétales supérieures, les régions frontales polaires et ventrolatérales du cortex

préfrontal qui seront impactées par la lumière. En contradiction avec les résultats obtenus par Chellappa et al. (2011), ceci suppose une certaine importance de la lumière pour les fonctions cognitives supérieures, car les régions préfrontales citées ci-dessus sont considérées comme au sommet de la hiérarchie cognitive et engagées dans les processus complexes.

Soulignons également qu'une tâche mettant en jeu la stimulation vocale émotionnelle a permis de mettre en évidence un impact de la lumière au niveau de « l'aire de la voix » dans le cortex temporal impliqué dans le décodage de l'information émotionnelle vocale (Vandewalle, 2014).

Comme on peut le constater, les effets ont été démontrés de manière assez robuste pour des tâches de vitesse de traitement et d'attention. Cependant, la littérature est plus mixte en ce qui concerne l'effet de la lumière sur des tâches impliquant un contrôle cognitif plus important.

4. Application des effets de la lumière

La thérapie lumineuse, appelée « lumineothérapie », peut être utilisée dans une multitude de domaines et de contextes comme les troubles du sommeil et du rythme circadien, la dépression ou encore les troubles de l'humeur. Elle consiste à exposer l'individu concerné à une source lumineuse de longueur d'onde et d'intensité variable. Les premières techniques de lumineothérapie sont développées à la fin du 19^e siècle par Niels Ryberg Finsen, qui recevra le prix Nobel de physiologie ou médecine en 1903, et sont utilisées pour stimuler le système immunitaire. En 1984, Rosenthal reprendra la lumineothérapie dans un contexte psychiatrique afin de traiter la dépression saisonnière (Rosenthal et al 1984) et relancera l'intérêt pour la lumière et ces effets sur l'Homme. L'efficacité de la lumineothérapie sera démontrée dans les travaux d'Eastman et al. (1998), Lewy et al. (1998) et Terman et al. (1998). Enfin, c'est en 2005 que la lumineothérapie est enfin officiellement reconnue comme un traitement efficace et pertinent contre la dépression saisonnière et les troubles du sommeil (Freyheit, 2009). Cette thérapie est de plus en plus appréciée par la population, car elle constitue un moyen simple, naturel et sans effets secondaires de traiter des troubles auxquels beaucoup d'individus sont confrontés.

Plusieurs dispositifs lumineux sont disponibles pour la thérapie. Il existe des lampes dites « classiques » de taille variable composées de tubes fluorescents à lumière blanche comprenant tout le spectre lumineux, par-dessus lesquels se trouve un filtre anti-UV afin d'éviter les effets néfastes des UV sur les yeux et la peau (Lam et al. 1992). Ces lampes sont composées d'un pied amovible permettant une disposition personnalisée optimale pour chacun. Il existe également des modèles proposant un éclairage « d'ambiance » et non une exposition directe. Le deuxième dispositif répandu est la « luminette », comme son nom le suggère, il s'agit d'une paire de lunettes lumineuses, envoyant directement les photons à la rétine. Ces lunettes fournissent la lumière via des LED proposant une lumière de longueurs d'onde courtes (correspondant à un mélange de bleu et de vert) résultant en une vive lumière blanche, contrairement aux lampes décrites ci-dessus qui propagent plutôt une lumière se situant du côté

plus « orange » du spectre lumineux. Les LED sont placées dans la partie supérieure de la lunette et réfléchies directement vers l'œil (Freyheit, 2009). De plus, ce dispositif permet une lumière individuelle et « portable » devant laquelle il n'est plus nécessaire de rester assis, puisque portée directement sur la tête et permet donc de garder une activité pendant l'exposition (Stewart et al., 1990 ; Clark et al., 1997). C'est ce modèle qui est utilisé dans l'étude ci-présente. Bien que les études ne soient pas encore fixes sur l'efficacité des dispositifs directement montés sur tête, il existe tout de même des preuves qu'il affecte bel et bien la sécrétion de mélatonine et permet un entraînement circadien (Boulos et al., 2002; Paul et al., 2007).

Au niveau des applications concrètes de la thérapie, on peut parler de son utilisation dans le traitement des troubles du sommeil, lorsque le sommeil est « déphasé » et pose certains problèmes dans la vie quotidienne de la personne atteinte. Ces troubles du sommeil peuvent être le fruit d'une désynchronisation interne ou externe et comprennent le « shift work sleep disorder », un trouble du cycle du sommeil caractérisé par des insomnies et une somnolence excessive affectant les travailleurs nocturnes, qu'ils soient intermittents ou permanents, le symptôme du « jet lag », qui survient lorsqu'un individu change, occasionnellement ou régulièrement, de fuseau horaire, le trouble du cycle du sommeil avancé (« advanced sleep phase disorder ») constituant un contexte où l'individu se sent fatigué très tôt dans la soirée et se lève extrêmement tôt au matin, et le trouble du cycle du sommeil retardé où, à l'inverse du précédent, le patient se couche et se lève extrêmement tard. L'« American Academy of Sleep Medicine » a conclu que l'exposition à une lumière matinale est toute indiquée dans le traitement du trouble retardé de phase de sommeil, bien que le timing et la durée optimale de l'exposition restent à déterminer selon les individus et leurs cycles personnels. Ici, la photothérapie semble être plus efficace lorsque l'exposition est plus longue avec une lumière modérément intense que si l'exposition est plus courte avec une lumière plus intense (Dewan, 2011). En addition, l'efficacité de la luminothérapie dans ce contexte pourrait être accrue en considérant l'importance de la longueur d'onde, comme expliquer dans le point 2 de ce travail, afin de produire un décalage du cycle plus prononcé (Smith, 2009). Afin de parcourir une thérapie de manière concrète, prenons le cas du « shift work sleep disorder ». Dans ce contexte, en plus des aménagements des horaires, une exposition lumineuse à certaines périodes et un maintien de l'obscurité à d'autres moments propices sont de rigueur. Par exemple, pour un travail de nuit régulier, l'horloge biologique peut être retardée en exposant l'individu à la lumière pendant la première moitié de sa nuit biologique, afin de synchroniser cette dernière avec le rythme exigé par le travail. Afin de minimiser l'effet de la lumière extérieure lors du retour à la maison au matin, l'individu peut utiliser des lumières jaunes qui ont pour but de filtrer la lumière bleue et d'apporter une lumière plus « tamisée », moins vive, à la rétine afin d'éviter une sollicitation des signaux d'éveil (puisqu'il est l'heure pour la personne d'aller dormir) (Freyheit, 2009).

La deuxième grande utilisation de la luminothérapie se situe, comme cité précédemment, dans le contexte de la dépression saisonnière. La dépression saisonnière est caractérisée par l'apparition d'un épisode dépressif uniquement à certaines périodes de l'année, souvent les mois d'automne et/ou d'hiver. On peut remarquer la coïncidence de ces périodes avec la durée réduite d'ensoleillement et de luminosité des journées. Le traitement par la luminothérapie est recommandé seul si les symptômes ne sont pas trop sévères et se déroule schématiquement comme suit : l'individu doit commencer les séances dès les premiers signes de dépression, voire même en prévention de ceux-ci s'il sait être sujet à ce trouble et qu'il l'a déjà expérimenté (Freyheit, 2009). Il est recommandé de commencer par des séances matinales d'une durée approximative de 20 minutes (Golden et al, 2005). Lorsque l'amélioration est bien nette, l'exposition peut être prolongée et divisée en deux sessions (une le matin et une en fin d'après-midi). Même si l'amélioration semble suffisante, il est nécessaire de continuer les expositions pendant au moins 4 semaines, afin de stabiliser les effets et d'éviter une rechute, voire de maintenir le traitement jusqu'à la période de rémission naturelle du patient si cela est nécessaire (Terman et al., 1994).

Une troisième utilisation de la lumière peut être citée : le simulateur d'aube. La lumière diffusée via ce dispositif lumineux a pour effet d'augmenter la sécrétion de cortisol, qui augmentera le taux de glucose sanguin et donc l'apport d'énergie (Thorn et al. 2004). Le réveil est donc facilité et plus naturel, à l'inverse d'un réveil classique, cette méthode prépare l'éveil. Le simulateur peut être utilisé par tout le monde et fonctionne pour autant que l'on soit tourné vers la lumière. L'inverse, le simulateur de crépuscule, existe également et est recommandé pour les personnes qui peinent à s'endormir (Freyhiet, 2009).

Pour finir, il a été évoqué plus haut que la sensibilité à la lumière des personnes âgées était particulière, différente de la sensibilité des jeunes. Aussi, la lumière peut être utilisée dans le contexte spécifique du vieillissement et des troubles du cycle veille-sommeil qui en découle. Comme la mélatonine diminue avec l'âge, son effet en tant que synchroniseur est amoindri et favorise donc l'apparition de troubles du cycle. Bien qu'il soit tout à fait possible d'administrer des compléments de mélatonine aux personnes âgées, notamment dans le cadre de la maladie d'Alzheimer et de Parkinson (Maharaj et al, 2006), il est également possible d'aider ces personnes via l'exposition lumineuse. La plupart des personnes âgées souffrant de troubles du sommeil sont enclines au trouble du cycle avancé avec insomnies matinales. Ces personnes voient leur chronotype modifié en chronotype extrême du matin. Sur des patients Alzheimer, il est possible d'utiliser l'exposition lumineuse afin d'augmenter la durée du sommeil nocturne et d'améliorer le cycle veille-sommeil (Mishima et al, 1998). Les troubles cognitifs rencontrés par les personnes âgées pourraient aussi être diminués grâce à la luminothérapie et ainsi augmenter l'autonomie des patients (Rixt et al, 2008).

Attention tout de même que malgré le peu de risques de la luminothérapie, il y a une certaine prudence est de rigueur. Par exemple, les personnes sujettes aux troubles bipolaires pourraient déclencher un état hypomaniaque, les mamans allaitantes ne doivent pas s'exposer au moment de l'allaitement afin de ne pas risquer de modifier les cycles du nourrisson ou au cas où l'exposition à une forte intensité lumineuse soit néfaste pour ce dernier. Au niveau des effets secondaires, surtout en cas d'exposition trop importante, il est possible pour un individu d'expérimenter des maux de tête ou une fatigue oculaire, de présenter une irritabilité ou un état maniaque ainsi que des insomnies lors d'expositions lumineuses en soirée ou un sentiment de fatigue dans le cas où les patients écourteraient leurs nuits de sommeil dans le but de s'exposer avant le travail.

5. Processus mnésiques automatiques et contrôlés.

La mémoire fonctionne en tandem avec des processus automatiques et contrôlés. En effet, la récupération d'un épisode mnésique, communément appelé souvenir, s'effectue de deux manières : l'activation automatique et involontaire d'indices reliés à un souvenir spécifique ou non, et/ou la recherche contrôlée et volontaire d'un souvenir spécifique (Adam, 2003). Il y a trois étapes principales dans le processus mnésique : l'encodage, où l'information est acquise, le stockage, où cette même information sera gardée en mémoire, et la récupération, consistant à retrouver l'information stockée au préalable. C'est à cette étape que les processus automatiques et contrôlés peuvent être discernés. (Adam, 2014) Aussi, il apparaît, d'après Tulvig et Schacter, que ces processus sont distincts en termes de systèmes neuronaux. En effet, des patients dont la mémoire implicite est intacte alors que l'explicite est altérée corroborent cette hypothèse, accompagnée de données issues de l'imagerie cérébrale montrant des différences neuroanatomiques entre les deux types de processus (Adam, 2014).

a. Mémoire implicite automatique

Les processus automatiques sont rapides et peu coûteux, car ils ne nécessitent aucun contrôle conscient de l'individu et donc peu, voire pas, de ressources attentionnelles et cognitives. La récupération effectuée de cette manière est appelée « récupération implicite », car, comme mentionné ci-avant, ne requiert pas de recherche active de l'information (Jacoby, 1993).

Lorsque l'on parle de mémoire implicite, la récupération d'un souvenir se présente sous le terme d'« amorçage » ou de « priming ». Pour être considérée comme telle, une tâche d'amorçage doit remplir deux conditions : la performance à la tâche ne doit pas dépendre d'une récupération intentionnelle de la part du participant, et cette performance doit être associée à une récupération inconsciente uniquement (Adam, 2014). En d'autres termes, la tâche ne doit jamais faire intervenir de processus mnésiques explicites lors de sa réalisation : celle-ci doit reposer sur une récupération automatique implicite uniquement. Si l'un de ces critères n'est pas respecté, la mémoire implicite sera « contaminée » par la mémoire explicite. Une des tâches implicites les plus communes est la tâche de complétion de mots de Graff et Mandler (1984).

Les processus implicites n'ont bien entendu pas que des avantages : en effet, l'amorçage peut amener un biais dans l'identification d'un stimulus parce qu'un autre stimulus, perceptivement proche, a été présenté avant. Aussi, les patients souffrant de troubles de la mémoire épisodique seraient enclins à répéter leurs erreurs à cause de leur mémoire implicite. En fait, pour ces patients, lors d'un apprentissage où ils commettent des erreurs, ils ne s'en souviendront pas explicitement, par contre ils seront disposés à la répéter (Adam, 2014) à cause de la familiarité du geste.

b. Mémoire explicite contrôlée

Les processus contrôlés, à l'inverse des processus implicites, sont cognitivement coûteux : ils demandent une recherche active du souvenir en mémoire. Les indices environnementaux activant la mémoire implicite peuvent jouer en faveur ou à l'encontre de la recherche active (Nicolas, 1994). En d'autres mots, les indices implicites peuvent faciliter la recherche consciente, car ils corroborent l'évènement de manière spécifique, ou ils peuvent handicaper la recherche, car ils sont incohérents avec l'épisode recherché. Aussi, s'ils sont trop peu spécifiques, ils guideront la recherche sans pour autant la faciliter. Ce sont généralement ces processus qui sont atteints dans les troubles mnésiques, contrairement aux processus implicites qui sont le plus souvent préservés. L'évaluation de la mémoire explicite se fait à l'aide de tâches de mémoire classique, telle que le rappel libre ou indicé comportant un encodage et un rappel tous deux explicites (Nicolas, 1994). La contamination possible de la mémoire implicite par la mémoire explicite est également possible de manière inverse : l'implicite contamine l'explicite. Par exemple, dans une tâche de rappel explicite, un indice peut servir à donner une réponse implicite qui peut être correcte même s'il n'y a pas eu de recherche active, amenant à une surestimation des capacités mnésiques explicites du patient.

c. Procédure de dissociation (Jennings et Jacoby, 1993)

La distinction entre les processus explicites et implicites ainsi que leurs influences et contaminations respectives nous amène à une volonté de dissocier objectivement ces processus afin de déterminer quelle est la part de chacun au sein d'une performance cognitive. Pour être dans la capacité de démontrer l'influence d'un facteur sur la mémoire explicite et non sur la mémoire implicite, il convient d'estimer les effets des deux processus de manière individuelle et non pas d'essayer d'en supprimer un des deux. La procédure de dissociation créée par Jacoby, sur base de laquelle l'étude dont ce mémoire est l'objet a été analysée, permet de faire la part des choses. Cette procédure fut développée dans le cadre de l'étude des fonctions mnésiques chez les personnes âgées et met en opposition les principes de « familiarité » (F) et de « reconnaissance » (R) au sein d'une tâche de mémoire.

Pour être mise en place, il est nécessaire de créer un test de mémoire qui possède deux conditions : une condition d'exclusion et une condition d'inclusion. Lors d'un test de mémoire en condition d'inclusion, les processus agissent dans le même sens : un sujet peut récupérer un

item de manière contrôlée (=R) parce qu'il l'a recherché en mémoire ou parce que l'item lui est venu en tête de manière automatique (=F). Si ce deuxième cas de figure arrive de concert avec un échec de récupération contrôlée, on obtient alors (1-R). Si on pose que les processus contrôlés et automatiques sont indépendants, alors, en condition d'inclusion, on obtient : $INCLUSION = R + F \times (1-R)$.

Dans la condition d'exclusion, pour que la réponse au test soit correcte, il faut que l'item présenté et mémorisé précédemment ait été consciemment récupéré afin de pouvoir traiter la demande d'exclusion avec succès. Ici, les processus contrôlés et automatiques agissent de façons opposées, car là où le processus contrôlé permettra une récupération consciente, et donc une tendance à réussir l'exclusion alors que le processus automatique, lui, jouera contre l'exclusion et aura tendance à apporter des erreurs. La probabilité que le sujet produise une erreur dans la tâche d'exclusion peut être exprimée par $EXCLUSION = F \times (1-R)$.

Maintenant que l'on a ces deux équations, il est simple de la transformer afin de connaître la contribution de F et la contribution de R. On peut alors calculer la contribution des processus contrôlés à l'aide de la formule : $R = Inclusion - Exclusion$. Dorénavant, grâce à l'estimation de R par la formule précédente, on peut calculer la probabilité qu'un mot soit récupéré de façon automatique : $F = Exclusion / (1-R)$.

Malgré qu'elle permette de répondre à certains biais contenus dans les tests mnésiques classiques, la procédure de dissociation de Jacoby possède elle aussi ses propres limites. Tout d'abord, cette procédure postule que les processus contrôlés et automatiques, même s'ils travaillent de concert, sont indépendants l'un de l'autre. Or, dans la littérature on retrouve plusieurs hypothèses concernant la relation entre les deux processus : Adam (2003) énonce également des théories mettant en œuvre les principes de relation d'exclusivité et de redondance : l'exclusivité stipule que les processus sont mutuellement exclusifs et qu'ils ne peuvent donc pas influencer ensemble une même performance ; la redondance, quant à elle, stipule que le processus contrôlé est un sous-ensemble des processus automatiques de sorte que toute information récupérée de manière contrôlée a au préalable été activée de façon automatique. La relation d'indépendance est tout de même vue comme le modèle général, les deux autres étant considérés comme des exceptions. En effet, Jennigs et Jacoby (1997) citent 20 études dans lesquelles les résultats concernant la variance des processus observent une autre relation d'indépendance, par exemple par des variables associées avec une réduction du contrôle cognitif laissant les processus automatiques inchangés. Une autre limite de la procédure concerne les consignes relatives à la tâche qui peuvent être perçues comme trop compliquées selon la population qui y est soumise.

Comme énoncé précédemment, la procédure et les formules d'analyses décrites ci-dessus sont utilisées dans l'étude réalisée au sein de ce travail de recherche.

6. Buts et hypothèses

L'objectif de ce mémoire consiste à investiguer l'effet de la lumière enrichie en bleu sur les performances à des tâches permettant de mieux dissocier entre les aspects de vitesse de traitement, de contrôle cognitif et les aspects plus automatiques du fonctionnement cognitif. Ainsi, nous amenons deux hypothèses. La première suppose que la lumière enrichie en bleue favorise la vitesse de réponse par rapport à l'exactitude de la réponse, concordant avec le « speed accuracy trade off » du processus décisionnel suggérant le compromis entre vitesse et exactitude lorsque le temps d'action est limité. En effet, la littérature est formelle lorsqu'il s'agit de signifier que la lumière, surtout enrichie en bleue, a un effet direct sur les capacités d'alerte, et plus on est alerte, plus on peut répondre avec rapidité à des stimuli lors de tâches de vitesse de traitement. De plus, comme vus précédemment, des chercheurs ont d'ores et déjà déterminé des effets bénéfiques sur l'activation cérébrale lors de tâches mettant en jeu les capacités attentionnelles, mais aussi au niveau d'autres processus cérébraux plus élaborés comme ceux impliqués dans la mise à jour ou la mémoire de travail.

La seconde hypothèse, pouvant découler de la première, suppose que la lumière enrichie en bleue favorise l'utilisation de processus automatiques par rapport aux processus contrôlés. En effet, comme les processus automatiques sont plus rapides et moins coûteux, il se peut, surtout si la première hypothèse est vérifiée, que les sujets utilisent préférentiellement ces processus plutôt que les processus contrôlés plus coûteux. Les deux hypothèses entretiennent un lien étroit, si la vitesse d'exécution prime sur l'exactitude des réponses, alors on peut supposer que les processus automatiques prennent le dessus sur les contrôlés puisqu'il y aurait alors assez peu de contrôle de la réponse fournie (dépendant des processus contrôlés) et plus de réponses de type « réflexes », dépendant plutôt des processus automatiques. Ici, la propension aux réponses automatiques et/ou contrôlées sera par ailleurs évaluée à travers une tâche de mémoire composée de deux conditions différentes, dont l'une des deux engendrera des erreurs en cas d'utilisation de processus automatiques.

Les deux hypothèses présentées ci-dessus sont purement exploratoires, car aucune autre étude, à notre connaissance, n'a encore réellement exploré, du moins publiquement, ces relations potentielles. Ces hypothèses naissent des résultats de l'étude de Rodrigez-Morilla et al (2017) dans laquelle ils ont montré un impact néfaste de la lumière enrichie en bleu sur la performance d'une simulation de conduite, suggérant qu'une stimulation trop importante induisant un éveil excessif peut porter préjudice à l'exactitude des performances à une tâche complexe.

Secondairement, cette étude servira également de test à cette nouvelle génération de dispositif lumineux que sont les Luminettes©. En effet, il est attendu, comme dans la littérature existante, que les sujets exposés à la lumière bleue voient leur taux de mélatonine augmenté au fur et à mesure de la soirée puis drastiquement chuté et supprimé à partir du moment où l'exposition lumineuse a commencé. Le cortisol lui, par contre, devrait se trouver relativement

inchangé, car son taux maximal est atteint au réveil et quasi inexistant en soirée. Aussi, la sensation subjective d'éveil et la vigilance devraient toutes deux se dégrader au fil du protocole, mais remonter en condition d'exposition à la lumière bleue, tandis qu'elles devraient continuer normalement leur déclin dans la condition de lumière rouge. La réplication de ces résultats permettra de contrôler l'exposition lumineuse administrée aux sujets et de vérifier qu'elle est efficace.

Les résultats de ce mémoire pourraient venir compléter la documentation liée à ce sujet qu'est l'influence de la lumière, que ce soit en répliquant les résultats déjà présents et ainsi fortifier leur véracité de par l'apport de preuves supplémentaires, en ouvrant certaines voies de recherche ou questionnements, ou en ajoutant des effets peu ou pas déterminés à ce jour. De plus, ces résultats pourraient être intéressants en ce qui concerne le domaine clinique, car comme explicité précédemment, la lumière est déjà utilisée en psychologie en ce qui concerne les troubles dépressifs, mais plus que cela, dans une perspective neuropsychologique, les études sur la lumière pourraient ouvrir des pistes thérapeutiques ou au moins des pistes de réflexion quant à l'utilisation de la lumière au sein de la rééducation d'un patient ou de sa prise en charge globale. Bien que les sujets âgés ne soient pas compris dans cette étude, il pourrait être intéressant de chercher à tester des hypothèses similaires dans cette population afin d'étendre encore le potentiel thérapeutique de la lumière.

II. Méthodologie

Cette partie reprend les méthodes de recrutement, les consignes données aux sujets, le protocole expérimental ainsi qu'un détail des tâches administrées. Tous les participants ont signé un formulaire de consentement relatif à l'étude et ont reçu une documentation adéquate sur l'étude et l'utilisation des données récoltées. Cette étude garantit l'anonymat des participants dans l'analyse et l'interprétation des données. Les participants ont reçu un dédommagement financier pour leur investissement cette recherche. Il s'agit d'une étude en simple aveugle, approuvée par le Comité d'Éthique Hospitalo-Facultaire de l'Université de Liège et réalisée en accord avec la Déclaration d'Helsinki¹.

1. Participants

24 participants entre 18 et 30 ans ont été recrutés via des annonces à l'Université de Liège ainsi que sur les réseaux sociaux. Ces participants étaient informés du déroulement de l'étude et de son sujet, mais ils ignoraient, évidemment, les hypothèses et résultats attendus de cette étude afin de n'avoir aucun biais de confirmation qui amènerait les sujets, volontairement ou inconsciemment, à produire les résultats désirés par l'expérimentateur. Les sujets désireux de participer à l'étude ont rempli différents questionnaires avant le recrutement définitif, ainsi qu'au début de chacune des deux passations dans le but de vérifier qu'ils ne remplissaient aucun des critères d'exclusions sélectionnés pour l'étude. Cesdits critères sont :

- ✓ Une qualité de sommeil subjective insuffisante, déterminé à l'aide du « Pittsburgh Sleep Quality Index » (PSQI ; Buysse et al 1989)², ou souffrir de troubles du sommeil.
- ✓ Présenté un chronotype extrême du soir ou du matin, déterminé à l'aide du Horne and Ostberg Morningness-Eveningness Questionnaire (MEQ ; Horne & Ostberg, 1976)³
- ✓ Être sujet à une somnolence excessive durant la journée, déterminée à l'aide de l'échelle de somnolence d'Epworth (ESS ; Johns, 1991)⁴

¹ Pour plus d'informations, consultez WMA - The World Medical Association-Déclaration d'Helsinki de L'AMM – Principes éthiques applicables à la recherche médicale impliquant des êtres humains. (n.d.). Tiré de <https://www.wma.net/fr/policies-post/declaration-dhelsinki-de-lamm-principes-ethiques-applicables-a-la-recherche-medicale-impliquant-des-etres-humains/>

² Le PSQI est un questionnaire d'auto-évaluation sur la qualité de sommeil et les troubles du sommeil portant sur une durée d'1 mois. Il est composé de 19 items composant 7 scores relatifs à la qualité du sommeil : la qualité de sommeil subjective, la durée du sommeil, la latence à l'endormissement, l'efficacité du sommeil, les perturbations du sommeil, la médication relative au sommeil et les problèmes diurnes. Les scores de ces 7 composantes sont additionnés afin de donner un score global. Les sujets au sommeil sain ont un score maximal de 52, les mauvais dormeurs allant de 54 à 62 points

³ La MEQ est un questionnaire d'auto-évaluation déterminant le chronotype d'un individu, permettant de repérer les chronotypes extrêmes du soir et du matin. Le questionnaire est un questionnaire à choix forcé, sans modalité neutre, comprenant 19 items. Les scores vont de 16 à 86 et son répartis selon 5 chronotypes : les score entre 16-30 correspondent à un chronotype extrême du soir, 31-41 correspondent à un chronotype du soir modéré, 42-58 correspondent à un chronotype « neutre », 59-69 correspondent à un chronotype du matin modéré et 70-86 correspondent à un chronotype extrême du matin.

⁴ L'ESS est un questionnaire d'auto-évaluation mesurant le niveau général de somnolence diurne d'un individu. Il est composé de 8 items décrivant une situation quotidienne vis-à-vis de laquelle l'individu doit évaluer son niveau de somnolence. Le score cut-off est fixé à 10, correspondant au score maximal obtenu par les sujets sains lors de l'étude élaborant le questionnaire.

- ✓ Présenter des symptômes d'anxiété importants, déterminés à l'aide du « Beck Anxiety Inventory » (BAI ; Steer et al, 1993 ; Steer et Beck, 1993)⁵.
- ✓ Présenter des symptômes de dépression clinique importante, déterminés à l'aide du questionnaire « Beck Depression Inventory-II » (BDI-II ; Steer et al. 1997)⁶, ou un trouble saisonnier, déterminé par le « Seasonal Pattern Assessment Questionnaire » (SPAQ ; Rosenthal et al, 1984 ; Rosenthal et al 1987)⁷
- ✓ Avoir travaillé de nuit durant l'année en cours ou avoir voyagé vers une destination impliquant un changement de fuseau horaire supérieur à une heure de décalage durant les 2 derniers mois.
- ✓ Avoir des addictions (alcool, drogue, tabac) ou suivre une médication pouvant potentiellement influencer sur les éléments importants de l'étude comme le sommeil ou la fatigue
- ✓ Avoir des antécédents psychiatriques ou un traumatisme sévère
- ✓ Présenté une consommation d'alcool ou de caféine jugée excessive au bon déroulement de cette étude (14 doses d'alcool par semaine ; plus de 100mg de caféine par jour)

<u>Sample characteristics</u>			
<u>N(f/m)</u>	17(8/9)		
<u>Age (y)</u>	22.8 (1.8)		
<u>Educational level (y)</u>	14.26 (1.09)		
<u>Self reported sleep quality (PSQI)</u>	3.58 (1.17)		
<u>Chronotype (MEQ)</u>	50.94 (7.93)		
	<u>Blue light</u>	<u>Red light</u>	<u>p-value</u>
<u>Daytime propensity to fall asleep (ESS)</u>	7.47 (4.28)	6.47 (3.35)	0.167
<u>Actimetry-derived wake-up time (hh:mm)</u>	08:04 (38 min)	08:13 (43 min)	0.536
<u>Actimetry-derived sleep time (hh:mm)</u>	23:51 (55 min)	23:56 (53 min)	0.453

f = female; m = male; y = years; PSQI = Pittsburgh Sleep Quality Index (Buysse et al., 1989), MEQ = Morningness-Eveningness Questionnaire (Horne & Ostberg, 1976), ESS = Epworth Sleepiness Scale (Johns, 1991).

Tableau 1 Données démographiques, et moyennes et écart-types des scores aux questionnaires et des données d'actimétrie comparées entre les deux conditions lumineuses

Sur les 24 participants recrutés au départ, seulement 17 participants (9 hommes et 8 femmes) ont été conservés : 4 ont abandonné l'étude à cause des contraintes imposées, 2 remplissaient les critères d'exclusion, et 1 a été écarté pour cause de non-respect des consignes de sommeil déterminées.

⁵ Le BAI est un questionnaire d'auto-évaluation composé de 21 items mesurant l'anxiété chez l'adulte et l'adolescent, indépendamment d'un caractère dépressif. L'individu doit évaluer la sévérité de chaque symptôme d'anxiété sur une échelle allant de 0 à 3. Le score global est calculé en additionnant les scores attribués à chaque item et ne doit pas dépasser 7 pour un sujet sain.

⁶ Le BDI-II, version révisée sur BDI, est un questionnaire d'auto-évaluation composé de 21 items mesurant la dépression chez un individu. Chaque item est lié à une échelle en 4 points allant de 0 à 3, permettant d'additionner chaque réponse afin d'obtenir un score global. L'individu doit s'évaluer selon les deux dernières semaines. Le score doit être <10 pour un sujet sain.

⁷ La SPAQ est un questionnaire d'auto-évaluation composé de 7 items permettant de mesurer la dépression saisonnière. L'individu doit évaluer les changements qu'il ressent en regard des saisons. Un score strictement supérieur à 10 et une intensité ressentie supérieure ou égale à 3 permettent d'évoquer un trouble saisonnier (blues de l'hiver ou dépression saisonnière).

2. Protocole expérimental

Les participants ont tous assisté à deux séances correspondant à deux conditions expérimentales, dont l'ordre de passation a été randomisé et contrebalancé parmi les participants. Les deux conditions diffèrent de par la lumière à laquelle le sujet est exposé : bleue ou rouge. Ces séances se déroulaient à une semaine d'intervalle. La durée totale de l'étude pour les sujets était donc de deux semaines.

Afin de s'assurer de la quantité de sommeil des sujets et de la stabilité de leur cycle de sommeil, une semaine avant chaque passation, les participants devaient tenir et respecter, de manière stricte et rigoureuse, un « agenda de sommeil ». Ceci consistait en un horaire régulier de veille-sommeil à respecter où le sujet devait se coucher et se lever tous les jours à la même heure durant toute la durée de l'étude et indiquer dans l'agenda les heures de lever, de coucher, et d'endormissement, ainsi que s'ils se levaient pendant la nuit et combien de temps. Les horaires de sommeil ont été choisis par le sujet, avec pour seule consigne que sa durée devait être de 8 à 9 heures. Un écart maximal de 15 minutes par rapport à l'heure indiquée était toléré, et ces horaires étaient maintenus entre la première et la deuxième passation. En plus des traces écrites laissées dans l'agenda par le sujet, l'activité du sujet était mesurée en permanence par un actimètre porté au poignet (CamNtech, Cambridge), ce qui garantit une vérification et un contrôle optimal du respect des horaires de sommeil. Comme mentionné ci-avant, un seul sujet a été exclu pour cause de non-respect de l'horaire attribué, attesté par l'actigraphe. En plus de ces indications, les sujets étaient interdits d'alcool, de caféine et de boisson énergisante durant les 3 jours précédant le jour de passation.

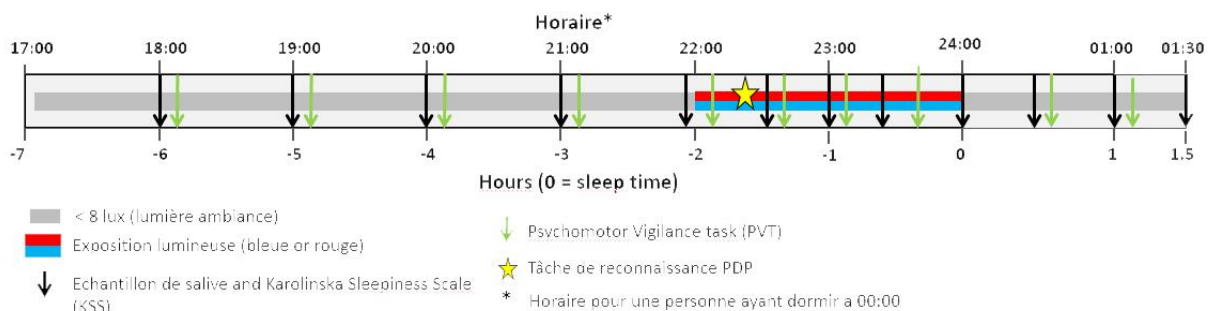


Figure 1 Schéma du protocole expérimental pour un sujet ayant minuit pour heure de coucher

Pour les deux sessions, les participants arrivaient au centre de recherche du cyclotron (CRC) de Liège (Sart-Tilmant) 7 heures avant leur heure de coucher habituelle, définie une semaine au préalable. Maximum 3 participants étaient présents en même temps afin que la passation soit optimale en termes de respect des horaires protocolaires. Ces participants étaient répartis dans des chambres individuelles de manière aléatoire, chacune plongée dans une lumière ambiante tamisée d'une intensité inférieure à 8 lux. Les sujets devaient rester assis dans cette pièce pendant une durée totale de 8 heures 30, sans autorisation de se lever, excepté si ceux-ci

devaient se rendre aux toilettes, auquel cas ils portaient des lunettes spéciales les gardant dans la pénombre et étaient guidés par les expérimentateurs jusqu'à la pièce puis ramener à leur chambre. Durant les 5 heures passées dans la pénombre, les participants étaient autorisés à lire ou à regarder des films, sur un ordinateur dont l'écran était d'une luminosité minimale, mais dans ce cas ils devaient s'arrêter une heure avant l'exposition. Les sujets étaient exposés pendant 2 heures à une lumière soit enrichie en bleue (~1500 lux), soit monochromatique rouge (~150 lux)⁸, selon la condition expérimentale. Chaque sujet passait une fois sous chaque lumière.

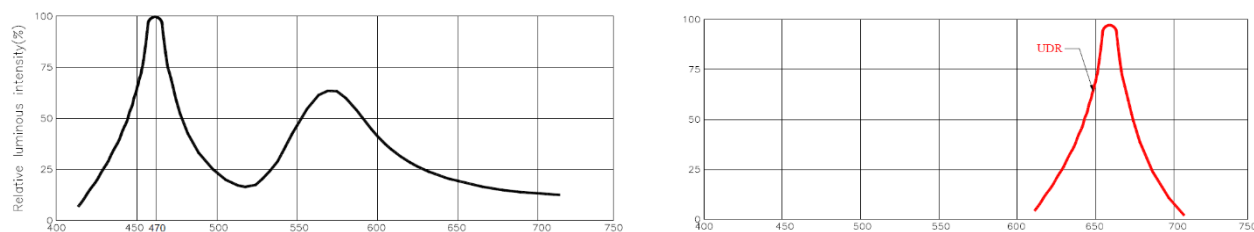


Figure 2 Illustration du spectre lumineux diffusé par les Lunettes. À gauche le spectre de la lumière blanche enrichie en bleue (~470nm) et à droite celui de la lumière monochromatique rouge (~660nm)

L'exposition lumineuse a donc lieu 2heures avant l'heure de coucher habituelle des participants, ce qui permet une observation de l'évolution du taux de mélatonine en plus de maximiser l'effet potentiel de l'exposition. La lumière était administrée via des Lunettes © (Lucimed)⁹, portée sur le nez, munie de LED et réfléchissant la lumière directement vers la rétine d'une certaine façon que la vue ne soit pas entravée (Rétine inférieure). Il s'agit d'une nouvelle génération de lunettes lumineuses. Pendant cette exposition, les participants étaient soumis à deux tests cognitifs, en plus des prélèvements salivaires et des mesures de vigilance subjectives (KSS) et objectives (PVT) : une tâche de mémoire (PDP) suivit d'une tâche de Stroop. Tous les tests et échelles administrés durant la séance sont administrés dans un format informatique. Suite à cela, les participants étaient replongés dans l'obscurité pendant 1 heure 30, correspondant à une extension d'éveil par rapport au rythme entraîné. Il est attendu que durant cette extension, la mélatonine soit à nouveau secrétée en quantité. À aucun moment les sujets n'avaient accès à l'heure, de sorte qu'aucun effet de motivation ou de démotivation suivant le temps qui passe ne soit possible, par exemple s'il s'avère que la séance est presque terminée le participant pourrait avoir un regain de motivation et ceci pourrait amener un biais sur l'échelle de somnolence subjective. Au terme de la séance, les participants pouvaient soit rentrer chez eux, à condition de ne pas reprendre le volant dans un état de fatigue, soit dormir au CRC le cas échéant jusqu'au lendemain.

⁸ Ces valeurs ont été spécifiées par les développeurs comme les valeurs lumineuses validées arrivant à la rétine quand lorsque les dispositifs sont portés par les individus.

⁹ Pour plus d'information, consultez Lucimed - Notre société, tiré de <https://www.myluminette.com/fr-be/societe>

3. Mesures et tests

Les participants ont été testés individuellement, dans un environnement calme plongé dans une lumière tamisée. Les interactions sociales étaient limitées aux simples consignes de l'expérimentateur, survenant aux moments opportuns. Les participants étaient installés en position assise durant les 8 heures composant la séance, face à l'écran d'ordinateur situé approximativement à 70cm de leurs yeux.

a) Échantillon salivaire

Toutes les heures durant la période de lumière tamisée et toutes les demi-heures durant l'exposition, un échantillon de salive était demandé aux participants, pour un total de 12 échantillon par sujet, afin d'évaluer les taux de mélatonine et de cortisol. L'échantillonnage salivaire est une méthode non invasive facile à mettre en place et bien adaptée à ce genre de mesure, car il reflète bien les mesures relatives aux marqueurs circadiens du cycle veille-sommeil ainsi qu'au décours temporel lié au taux de sécrétion (Brainard et al, 2001). La salive était récoltée dans des tubes à essais individuels et spécifiques à chaque prélèvement, réfrigérée pendant toute la durée de la passation puis immédiatement centrifugée et congelée à -20°C avant d'être envoyé en laboratoire pour analyse. Les échantillons ont été analysés par LCMS/MS (TQ5500, Sciex, Framingham, USA)¹⁰ pour le cortisol, et par un kit de radio-immuno-essai composé de deux anticorps à la mélatonine (Buhlmann, Schonenbuch, Suisse)¹¹

b) Vigilance objective et subjective.

La vigilance subjective, équivalente à la somnolence subjective, était évaluée par l'échelle de la KSS (Akerstedt and Gillberg, 1990).¹² Cette échelle était administrée à chaque échantillon salivaire, pour un total de 12 échelles remplies par participant, par séance. La vigilance objective a été mesurée par la PVT (Dinges and Powell, 1985)¹³ et a été administrée 10 fois par séance et par sujet. Ce test dure 5 minutes et le sujet doit appuyer sur une touche aussi vite qu'il le peut dès qu'un stimulus survient à l'écran (ici un compteur en millisecondes), l'intervalle entre les stimuli étant plus ou moins long, de manière aléatoire, compris entre 2 et 10 secondes. Les millisecondes affichées correspondent au temps de réaction de l'individu et fournissent un bref feedback direct. La mesure de vigilance est déterminée par les temps de réaction moyens totaux, pour les réponses les plus rapides et les réponses les plus lentes ainsi que par le nombre de « trous attentionnels » (temps de réponse supérieur à 500ms). Certaines études montrent que les Luminettes pourraient impacter négativement les performances à un test de vigilance psychomotrice (Paul et al., 2015), il s'agira alors de confronter ces résultats.

¹⁰ Pour plus d'information consultez SCIEX. (n.d.). About Us. Tiré de <https://sciex.com/about-us>

¹¹ About Us – BÜHLMANN. (n.d.). Tiré de <https://www.buhmannlabs.ch/about-us/>

¹² La Karolina Sleepiness Scale est un questionnaire d'auto-évaluation composé d'échelles de Likert à 9 points porté sur la somnolence ressentie par un individu.

¹³ La PVT est un test d'attention soutenue selon une tâche de temps de réaction mesure la rapidité de réponse d'un individu à un stimulus visuel. La fatigue est connue pour diminuer les performances à la PVT.

c) Confort Visuel

Une échelle de confort visuel (Visual Comfort Scale) a été administrée afin d'évaluer la perception visuelle des deux conditions de lumières, à l'aide d'échelles d'Osgood¹⁴. Pour chaque condition lumineuse, les participants devaient s'exprimer par rapport au plaisir général procuré par la lumière (agréabilité de l'exposition), l'intensité de la lumière (trop brillante ou trop sombre), la convenance de la couleur, l'effet de l'exposition sur la vigilance, l'effet de l'exposition sur la concentration et le confort visuel général. Cette mesure est relevée, car certaines études dans la littérature stipulent que ce genre de dispositif lumineux, tel que les Luminettes, induirait un plus grand inconfort visuel (Paul et al., 2007).

d) Tâche de Stroop

L'étude dont ce mémoire est l'objet a été réalisée en collaboration avec une autre mémorante¹⁵. La tâche de Stroop administrée aux sujets ne sera dès lors pas analysée dans ce travail, mais dès lors qu'il s'agit de décrire avec précision le protocole expérimental auquel les participants ont été soumis, il semble tout de même nécessaire de décrire brièvement cette tâche.

La tâche de Stroop consiste en une dénomination rapide de la couleur dans laquelle est écrit un mot. Elle nécessite d'inhiber le processus automatique de lecture afin de donner uniquement la couleur de ce mot, et non celle qu'il désigne. En temps normal, la tâche de Stroop s'administre en format papier, avec les couleurs rouge bleu et vert par exemple **rouge vert bleu** (les réponses attendues étant donc « bleu rouge vert »), mais dans le cadre de cette étude, la tâche de Stroop utilisée diffère de cette version classique et s'administre sur un support informatique. Il s'agit de la tâche développée et utilisée par Adam (2005) exposant 2 variantes de bleu et de rouge : **rouge prototypique**, **bleu prototypique**, **rouge dégradé**, **bleu dégradé**. En plus des mots « rouge » et « bleu » le stimulus « % % % » est également présenté dans l'une des 4 couleurs. Les stimuli peuvent dès lors être neutres, congruents, ou incongruents. Il était demandé aux participants d'appuyer sur la touche « X » pour la réponse « bleu » et sur la touche « N » pour la réponse « rouge ». La phase de test était brièvement précédée d'une phase de familiarisation avec les touches réponses.

¹⁴ L'échelle d'Osgood consiste en une échelle de type « favorable --- défavorable » sur laquelle le participant doit se situer. L'item présenté est généralement mesuré sur 5 ou 7 points, comprenant un choix neutre. Chaque choix est associé à un chiffre correspondant, permettant de calculer des scores et de réaliser des statistiques sur des données quantitatives. Il s'agit d'une variation des échelles de Likert, qui respectent le même principe général.

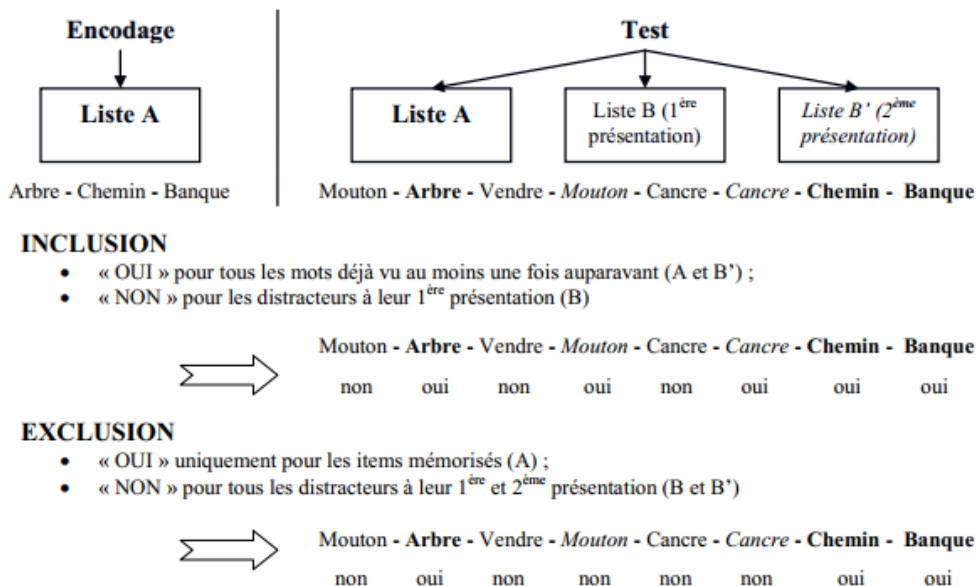
¹⁵ Voir M. Xhrouet (2017). *Impact de la lumière sur le fonctionnement exécutif, dissociation de l'impact entre les processus cognitifs automatiques et contrôlés*, Université de Liège.

e) Tâche mnésique (Adam, 2003)

Cette tâche mnésique de reconnaissance s'inspire de la version développée par Jacoby (1997) basée sur les procédures de dissociation des processus (PDP). À la base il s'agit d'une liste de 60 mots que les participants doivent mémoriser durant une première phase d'étude, ce sont les cibles. Ensuite, ces mots sont mélangés avec 60 nouveaux mots, les distracteurs, répétés à des intervalles différents (0, 3 et 12). Le test possède deux conditions, une condition d'inclusion et une condition d'exclusion. Dans la condition d'inclusion, les participants doivent reconnaître les mots qu'ils pensent avoir déjà vu, peu importe qu'il s'agisse des cibles de la liste initiale ou de distracteurs répétés, en bref, tous les mots qui ont été présentés au moins une fois au préalable, que ce soit dans la phase d'étude ou dans la phase de test.

Comme expliquer dans le point I.5.c), dans cette condition, une réponse peut être correcte selon deux principes : soit parce que le sujet se souvient consciemment que l'item a déjà été rencontré dans une phase spécifique, soit parce que le mot lui semble familier, mais qu'il ne parvient pas à le resituer. Dans la condition d'exclusion, les participants doivent uniquement reconnaître les cibles de la phase d'étude. Ainsi, pour n'avoir que des bonnes réponses, ils doivent reconnaître consciemment qu'un item était présenté dans la phase d'étude ou non, le simple sentiment de familiarité ne suffira pas à garantir une bonne réponse. Dans ce cas, un distracteur reconnu comme cible sera probablement toujours le fruit d'un processus automatique induisant l'individu en erreur, par contre, une bonne réponse pourrait être à la fois le fruit d'une récupération consciente, ou un « heureux hasard » venant d'un sentiment de familiarité.

Figure 3 Illustration de la tâche de reconnaissance de Jennings et Jacoby (1997), tirée de Adam (2003)



La tâche de reconnaissance utilisée dans notre étude est en tout point similaire à la tâche décrite ci-dessus excepté qu'elle ne comporte que 48 mots, 24 cibles et 24 distracteurs, et que les intervalles entre répétitions de deux même distracteurs ne sont pas de 0, 3 et 12, mais de 16

et 32. La durée de présentation des mots à l'encodage est de 2 secondes par mot, les participants devaient les lire à haute voix afin d'améliorer et de contrôler l'encodage et ils étaient informés qu'un test de reconnaissance allait suivre. L'adaptation de la tâche de Jennings et Jacoby (1997) pour cette étude a été spécialement réalisée par S. Adam. La tâche a été déclinée sous plusieurs versions (A, B, C, D) afin de contrôler l'influence du choix des mots sur la performance, pour que celle-ci, si elle existe, soit contrebalancée par les résultats concernant d'autres mots. L'ordre dans lequel les participants réalisaient les deux conditions, inclusion et exclusion, ainsi que les deux listes auxquelles ils étaient soumis a été randomisé afin que chaque combinaison ne se répète qu'un nombre minimal de fois entre les sujets. Par exemple, le sujet 1 pouvait être soumis aux listes Exclusion-A et Inclusion-B, le sujet 2 aux listes Inclusion-C et Exclusion-D et le sujet 3 aux listes Exclusion-B et Inclusion-D, etc. Tout comme dans la tâche de Stroop, les touches réponses étaient « X » et « N », « X » signifiant « OUI » et « N » signifiant « NON »¹⁶.

4. Analyses statistiques.

Toutes les analyses statistiques ont été faites avec le logiciel SAS 9.3 (SAS Institute, Cary, NY). Le seuil de significativité statistique est fixé à 0.05 pour l'ensemble des analyses, ce qui correspond à un taux d'erreur d'échantillonnage de 5%. Nous avons utilisé un modèle linéaire mixte (Proc Mixed) afin de déterminer l'effet de la condition lumineuse (Bleu VS Rouge), de la session (en 12 points pour les taux de mélatonine et de cortisol ainsi que pour la somnolence subjective et en 10 points pour la performance relative à la tâche PVT), et de l'interaction entre session et condition lumineuse, via une mesure répétée sur les deux facteurs, les participants étant considérés comme facteur aléatoire. Les valeurs des variables dépendantes de chaque session ont été moyennées selon leur apparition en regard de la condition lumineuse, formant ainsi 3 groupes, de sorte qu'il soit possible de comparer les valeurs avant, pendant et après l'exposition lumineuse à l'aide d'un modèle linéaire général à mesures répétées. Les contrastes ont été calculés avec « LSMEANS statement ». Les valeurs p des multiples comparaisons post-hoc ont été ajustées à l'aide du test de Tuckey. Les échelles de confort visuel ont été comparées entre les conditions lumineuses grâce au test non paramétrique de Wilcoxon. Par ailleurs, le degré de corrélation entre les mesures de somnolence subjectives et de vigilance a été déterminé à l'aide de corrélation de rang de Spearman. Il en va de même pour la corrélation entre le taux de mélatonine et la somnolence subjective. En ce qui concerne la corrélation entre la mélatonine et la vigilance, elle a été mesurée par le test de corrélation de Bravais—Pearson. Les analyses concernant les relations entre les performances à la tâche mnésique PDP et les conditions lumineuses ainsi que les relations entre les processus automatiques, les processus contrôlés, et les conditions lumineuses ont été déterminées à l'aide de procédures mixtes.

¹⁶ Les consignes données aux participants relatives au test de reconnaissance sont fournies en annexe.

III. Résultats

1. Mélatonine et cortisol

a) Mélatonine

L'analyse de la mélatonine a été effectuée à l'aide d'une ANOVA à mesures répétées 2 (condition lumineuse: lumière bleue vs. lumière rouge) x 12 (session: sessions -6, -5, -4, -3, -2, -1,5, -1, -0,5, 0, 0,5, 1, 1,5 heure relativement à l'heure de coucher habituelle du participant)

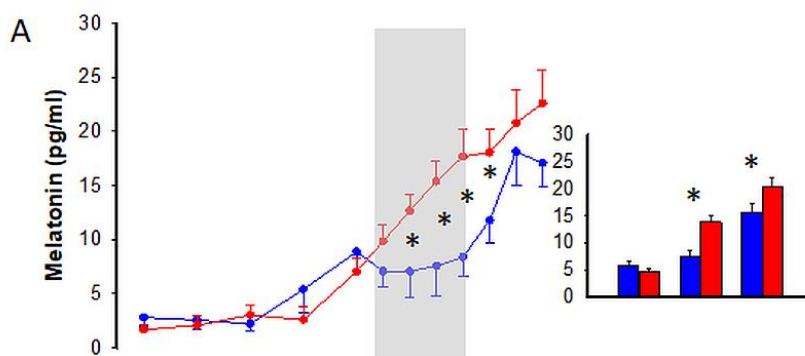


Figure 4 Déroulement temporel de la mélatonine avec les moyennes et écarts-types pour chaque session (à gauche) et les moyennes des sessions relativement à leur occurrence par rapport à l'exposition lumineuse (à droite). Notes : la barre grise indique le moment de l'exposition lumineuse ; la couleur bleue fait référence à la condition lumineuse bleue ; la couleur rouge fait référence à la condition lumineuse rouge ; l'axe X sur la figure de gauche reflète le temps en heures par rapport à l'heure de coucher habituelle ; les * indiquent les valeurs p corrigées inférieures à .05.

On observe un effet principal de la condition lumineuse ($F(1,312)=12,8$ $p < .0005$) montrant, de manière générale, une plus grande suppression de la mélatonine salivaire suite à une exposition lumineuse enrichie en bleu en comparaison à l'exposition à une lumière rouge.

Un effet principal de la session ($F(11,312)=2,81$, $p < .0005$) est observé de par le fait que le niveau de mélatonine salivaire augmente graduellement au fil des sessions, peu importe que l'on considère la condition bleue ou rouge. Aussi, nous retrouvons un effet d'interaction significative entre la condition lumineuse et la session ($F(11,132)=3,56$, $p=.0002$). En effet, le taux de mélatonine ne diffèrent pas entre les conditions lumineuses durant les heures précédant l'exposition lumineuse, lorsque les participants sont maintenus dans la pénombre (< 8 lux), mais le taux se réduit significativement en réponse à l'exposition à une lumière enrichie en bleu, de manière déjà significative après une demi-heure d'exposition ($p < 0,05$ pour la comparaison entre les conditions de lumière pour les sessions -1 à 0,5 heure relatives à l'heure de coucher habituelle) (voir Figure 4, à gauche). De la même manière, considérant les moyennes des sessions relativement à leur occurrence par rapport à l'exposition lumineuse (Figure 4, à droite), on observe une interaction significative ($F(2,32)=3,67$, $p < 0,05$) entre les catégories temporelles (avant, pendant, après) et la condition lumineuse qui après corrections post-hoc, révèle que le taux de mélatonine diffère pendant et après l'exposition lumineuse (tous les $p < 0,05$), mais pas avant ($p > 0,05$), suivant la condition lumineuse observée.

b) Cortisol

L'analyse du cortisol par une ANOVA à mesures répétées 2 (condition lumineuse : lumière bleue VS lumière rouge) x 12 (session : session -6, -5, -4, -3, -2, -1,5, -1, -0,5, 0, 0,5, 1, 1,5 heure relativement à l'heure de coucher habituelle du participant) a mis en évidence un effet principal de la session ($F(11,312) = 7.02, p < 0.0001$), mais aucun effet significatif de la condition lumineuse ($F(1,312) = 0.04, p > 0.5$) ni de l'interaction entre la session et la condition de lumière ($F(11,312) = 0.62, p > 0.5$) n'a été observé. Il en va de même pour l'interaction entre les catégories temporelles et la condition lumineuse qui n'a pas montré de résultats significatifs ($F(2,371) = 0.66 ; p > 0.5$)

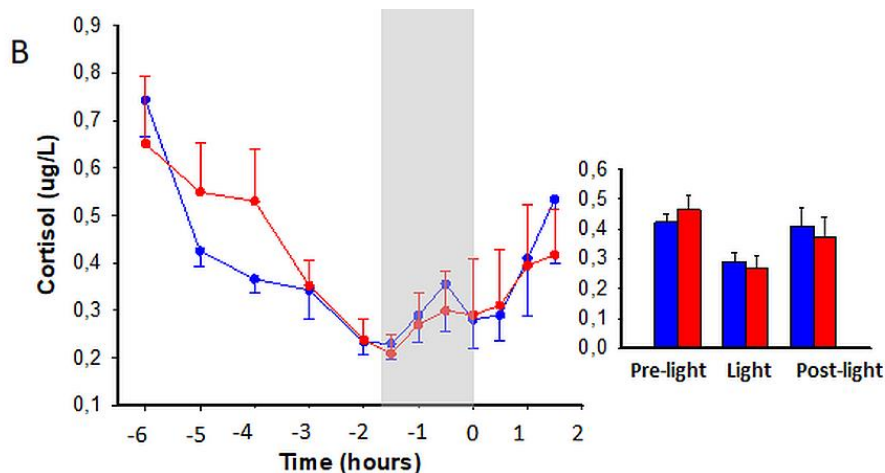


Figure 5 Déroulement temporel du cortisol avec les moyennes et écarts-types pour chaque session (à gauche) et les moyennes des sessions relativement à leur occurrence par rapport à l'exposition lumineuse (à droite) Notes : la barre grise indique le moment de l'exposition lumineuse ; la couleur bleue fait référence à la condition lumineuse bleue ; la couleur rouge fait référence à la condition lumineuse rouge ; l'axe X sur la figure de gauche reflète le temps en heures par rapport à l'heure de coucher habituelle ; les * indiquent les valeurs p corrigées inférieures à .05.

2. Vigilance

Comme énoncé précédemment, la vigilance a été mesurée grâce à la Psychomotor Vigilance Task (PVT), fournissant les performances relatives au temps de réaction moyen, au temps de réaction moyen pour les réponses les plus rapides, au temps de réaction moyens pour les réponses les plus lentes et au nombre de trous attentionnels (temps de réaction supérieur à 500ms) (transformé par $\sqrt{x} + \sqrt{x + 1}$, selon Graw et al., 2001). À nouveau, une ANOVA à mesures répétées 2 (condition lumineuse: lumière bleue vs. lumière rouge) x 10 (session: sessions -6, -5, -4, -3, -2, -1,5, -1, -0,5, 0,5 et 1 heure relativement à l'heure de coucher habituelle du participant) a été utilisée.

L'analyse a révélé un effet principal de la session pour toutes les variables de sorte que tous les temps de réaction et le nombre de trous attentionnels augmentent au fur et à mesure que le temps avance au sein du protocole ($F(9,302) = 9.22$, $p < 0.0001$ pour les temps de réactions rapides ; $F(9,302) = 12.47$ pour les temps de réaction médians; $F(9,302) = 9.35$, $p < 0.0001$ pour les temps de réaction lents; $F(9,302) = 6.02$, $p < 0.005$ pour les trous attentionnels). De plus, un effet principal de la condition lumineuse a été détecté de sorte qu'en condition de lumière bleue, la vigilance soit plus importante qu'en

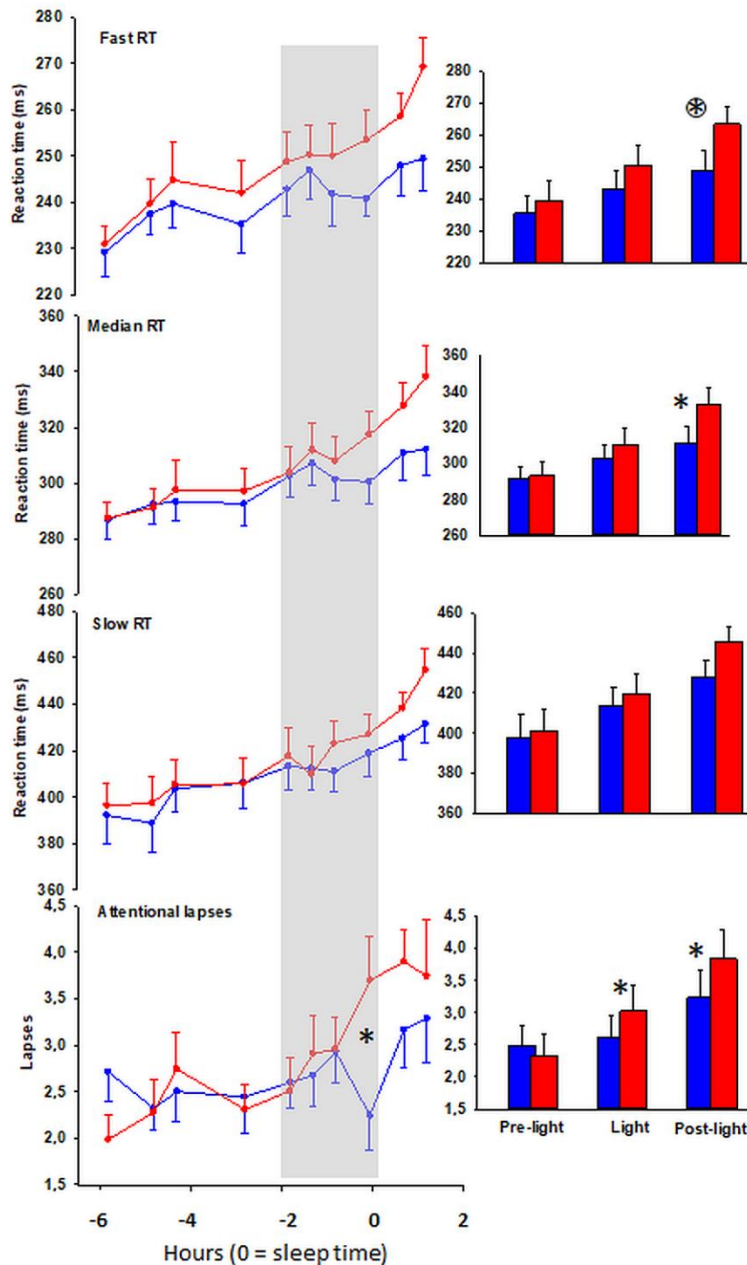


Figure 6 Décours temporel des scores de vigilance (à gauche), ainsi que des scores moyennés en fonction de leur occurrence par rapport à l'exposition lumineuse (à droite). Notes : la barre grise indique le moment de l'exposition lumineuse ; la couleur bleue fait référence à la condition lumineuse bleue ; la couleur rouge fait référence à la condition lumineuse rouge ; l'axe X sur les figures de gauche reflète le temps en heures par rapport à l'heure de coucher habituelle ; les * indiquent les valeurs p corrigées inférieures à .05 ; les * encadrés indiquent les valeurs de p corrigées inférieures à .10.

condition lumineuse rouge ($F(1,302) = 3.70$, $p = 0.0552$ pour les trous attentionnels; $F(1,302) = 22.14$; $p < 0.0001$ pour les temps de réaction rapides; $F(1,302) = 5.25$, $p < 0.05$ pour les temps de réaction lents; $F(1,302) = 14.51$, $p < 0.0001$ pour les temps de réaction moyens). Aussi, une interaction significative entre la condition lumineuse et la session est observée concernant le nombre de trous attentionnels ($F(9,302) = 2.30$, $p < 0.05$) ainsi qu'entre la condition lumineuse et les catégories temporelles, à nouveau pour les trous attentionnels ($F(2,316) = 3.67$, $p < 0.05$), mais aussi pour les temps de réaction moyens ($F(2,316) = 4.54$, $p < 0.05$). En ce qui concerne les temps de réaction rapides, on observe uniquement une tendance statistique ($p = 0.081$). Les

performances ne se différenciaient pas particulièrement avant l'exposition à la lumière, mais étaient améliorées pendant et après l'exposition lumineuse bleue en ce qui concerne les trous attentionnels et uniquement après pour les temps de réaction médians et rapides, en comparaison avec l'exposition à la lumière rouge.

3. Somnolence subjective et confort visuel

La somnolence subjective, mesurée via la Karolinska Sleepiness Scale (KSS), est significativement modulée par la session ($F(11,362) = 30.52$, $p < 0.0001$), ainsi que par la condition lumineuse ($F(1,362) = 15.14$, $p < 0.0005$). La somnolence augmente avec l'avancement du protocole. Les participants rapportent se sentir globalement plus fatigués lors de l'exposition à la lumière rouge, en comparaison avec l'exposition à la lumière bleue. L'analyse de l'interaction session x condition lumineuse ne s'est pas révélée significative ($F(11,362) = 0.71$, $p = 0.72$). Il en va de même lorsqu'on regarde vis-à-vis des catégories temporelles (avant, pendant et après l'exposition lumineuse), on observe que généralement, les participants se sentent plus fatigués pendant la condition lumineuse rouge, mais l'interaction entre les catégories temporelles et la condition de lumière n'est pas significative ($p > 0.05$).

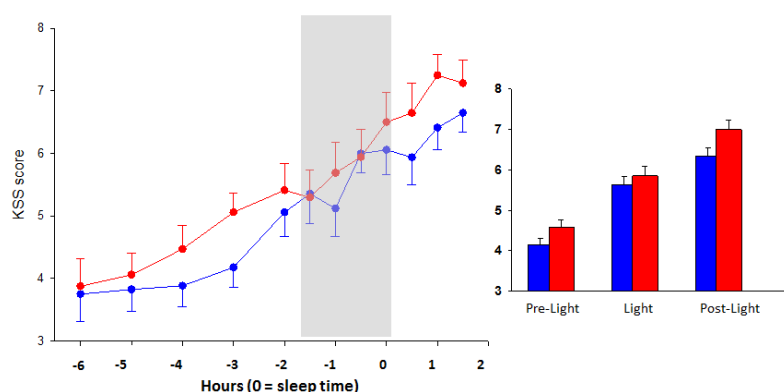


Figure 7 Décours temporel des scores de somnolence subjective (à gauche), ainsi que des scores moyennés en fonction de leur occurrence par rapport à l'exposition lumineuse (à droite). Notes : la barre grise indique le moment de l'exposition lumineuse; la couleur bleue fait référence à la condition lumineuse bleue ; la couleur rouge fait référence à la condition lumineuse rouge; l'axe X sur les figures de gauche reflète le temps en heures par rapport à l'heure de coucher habituelle.

Il est intéressant de noter que les participants se sentaient plus fatigués avant l'exposition lumineuse dans la condition rouge, en comparaison avec la bleue (4.1 ± 0.16 pour la condition bleue et 4.6 ± 0.17 pour la condition rouge, cependant les deux scores se situaient dans la portion « plutôt alerte » de l'échelle). Cela s'est produit malgré des périodes de veille-sommeil et des sentiments subjectifs de somnolence similaires évalués par l'échelle de somnolence d'Epworth la semaine précédente (voir Tableau 1). En ce qui concerne le confort visuel, les seules valeurs qui diffèrent entre les deux conditions concernent la clarté : la lumière bleue est jugée plus brillante que la rouge, cependant les valeurs moyennes, dans les deux conditions, se situent entre 2 (trop brillant) et 3 (adéquate). Toutes les autres mesures ne sont pas significativement différentes (Tableau 2).

Tableau 2 Perception visuelle subjective et confort (moyennes et écarts-types).

	Blue light	Red light	p-value
General pleasure	3.18 ± 0.88	3.18 ± 0.95	0.92
Clarity	2.12 ± 0.69	2.77 ± 0.68	0.05
<u>Colour</u>	3 ± 0.79	2,82 ± 0.88	0.59
Vigilance	2.35 ± 1.17	2.94 ± 1.08	0.19
Concentration	2.94 ± 1.14	2.58 ± 0.79	0.38
<u>Visual comfort</u>	4.79 ± 2.22	5.53 ± 1.95	0.28

Échelles en 5 points pour le plaisir général (1 - très plaisant ; 5 - très déplaisant), Clarté (1 - trop brillant ; 5 - trop sombre), Couleur (1 - très convenable ; 5 - très peu convenable), Vigilance (1 - m'aide à rester éveillé ; 5 - me rends somnolent), Concentration (1 - m'aide à rester concentré ; 5 - me distrait). Échelle en 10 points pour le confort visuel (1 - très confortable ; 5 - très inconfortable)

4. Processus automatiques et contrôlés

Afin des processus automatiques et contrôlés, il convient également de rapporter les résultats concernant le type de tâche (inclusion VS exclusion) sans tenir compte du calcul de dissociation des processus. Les analyses menées ont été inspirées des analyses réalisées par Jennings et Jacoby (1997) qui cherchaient à observer un même type de résultats dans un cadre différent et sur lequel est basé notre matériel de test.

a) Relations entre conditions lumineuses et type de tâche

Le test de l'interaction par une ANOVA 2 x 2 entre la condition lumineuse (bleu vs rouge) et le type de tâche (inclusion vs exclusion) pour le score de reconnaissance « classique » n'a pas montré de résultats significatifs ($F(46,7) = 0.65$, $p = 0.42$), bien que le graphique (Figure 8) associé observe une tendance très légère à une plus grande proportion de réponses correctes en condition de lumière bleue pour la tâche d'inclusion.

Une ANOVA 2 (condition lumineuse : bleu vs rouge) x 2 (type de tâche : inclusion vs exclusion) a été utilisée afin de tester l'interaction de ces deux variables sur la probabilité de répondre « Oui » aux nouveaux items (distracteurs qui ne sont pas encore répétés dans la phase de reconnaissance), correspondant à une erreur. Ici, à nouveau, on peut voir sur le graphique correspondant une très légère différence entre les deux conditions lumineuses, avec une probabilité moindre pour la condition bleue concernant la tâche d'inclusion (Figure 8), mais les résultats statistiques ne se sont pas montrés significatifs ($F(46,4) = 1.51$, $p = 0.22$).

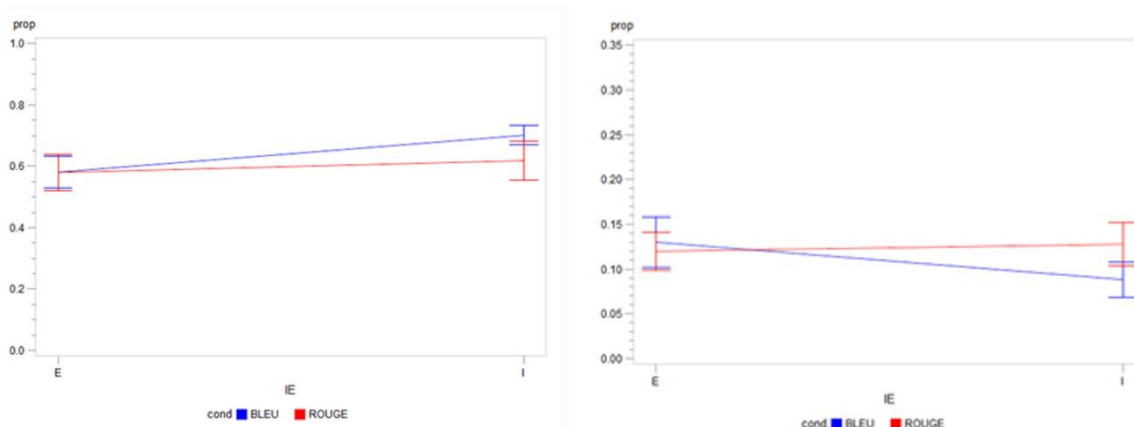


Figure 8 A gauche, proportion de réponses correctes (score de reconnaissance classique) en fonction de la condition lumineuse (bleu vs rouge) et du type de tâche (inclusion vs exclusion). À droite, la probabilité de répondre « oui » à un nouvel item en fonction de la condition lumineuse (bleu vs rouge) et du type de tâche (inclusion vs exclusion)

b) Relations entre la condition lumineuse, le type de tâche et le type d'item

Une ANOVA 2 (condition lumineuse : bleu vs rouge) x 2 (type de tâche : inclusion vs exclusion) x 3 (type d'item : new vs intervalle 16 vs intervalle 32) a été réalisée afin de tester l'interaction entre la condition lumineuse, le type de tâche et le type d'item et de déterminer comment ces variables influent sur la performance des sujets. Cette analyse a révélé un effet principal du type d'item montrant une différence significative entre les nouveaux items et les répétitions à intervalle 16 ainsi qu'à intervalle 32, mais cependant pas de différence entre les deux intervalles. On observe également un effet principal du type de tâche ($F(170) = 373.46$, $p < 0.0001$) de sorte que la condition d'exclusion amène une variation plus importante de la performance (une plus grande probabilité d'erreur) comparée à la condition d'inclusion. Aussi, une interaction entre le type de tâche et le type d'item a été observée ($F(170) = 101.80$, $p < 0.0001$), montrant que peut importer le type de tâche, les items répétés ont une probabilité plus importante de générer une réponse « oui » par rapport aux nouveaux items, peu importe l'intervalle.

c) Relations entre le type de processus, la condition de lumière, et le type d'item.

Ensuite, une ANOVA 2 (condition lumière : bleu vs rouge) x 2 (type de processus automatiques vs contrôlés) x 2 (type d'item : répétition à intervalle 16 vs répétition à intervalle 32) montrant une disparition de l'effet du type d'item. Par contre, on observe, une tendance pour une triple interaction entre la condition lumineuse, l'intervalle, et les processus impliqués ($F(108) = 3.34$, $p = 0.07$). En effet, il semblerait que dans la condition de lumière bleue, considérant l'intervalle 32, les processus automatiques soient moins sollicités qu'en condition de lumière rouge au même intervalle. Cependant, après le test d'ajustement post-hoc de Tukey-Kramer, la tendance est apparue non-significative ($p = 0.58$). Aucune autre interaction ne s'est profilée.

IV. Discussion

1. Discussion à propos de la mélatonine et du cortisol

Un des buts de ce travail consistait à tester l'efficacité des Luminettes© par la réplication des résultats de la littérature concernant la mélatonine et le cortisol. En effet, dans leur version bleue, elles devaient être capables de supprimer la sécrétion de mélatonine aux alentours de l'heure de coucher habituelle des sujets, qui augmente de façon graduelle tout au long de la soirée. Les résultats démontrent que, chez les jeunes en bonne santé, la lumière polychromatique enrichie en bleu et administrée à l'aide des Luminettes© supprime bel et bien la mélatonine lorsqu'on la compare avec une lumière rouge administrée à l'aide du même appareil. Cet effet est d'ailleurs relativement immédiat puisqu'il survient dès les 30 premières minutes d'exposition. De plus, les conditions de test permettaient bel et bien une augmentation graduelle du taux de mélatonine sécrétée avant l'exposition lumineuse, ce qui corrobore la littérature (Bojkowski et al., 1987). Ceci confirme les résultats observés dans certaines études comme celle de Clastra et al. (2010) ou de Paul et al. (2007) qui utilisaient également un dispositif lumineux à placer directement sur la tête, la différence se situant principalement au niveau de l'intensité lumineuse qui était plus forte dans l'étude de Paul et al. (>8000 lux) et moins forte dans l'étude de Clastra (1,200 lux).

Nous avons également montré que l'effet « persiste » quelque peu après l'exposition lumineuse, puisque, bien que le taux de mélatonine recommence à augmenter 30 minutes après l'exposition, celle-ci reste plus basse par rapport au taux enregistré lors de la condition neutre. Il pourrait être intéressant de tester jusqu'à quel moment la sécrétion de la mélatonine peut différer entre deux conditions lumineuses, afin de voir la durée de l'effet après une seule exposition. En ce sens, l'étude de Gooley et al (2011) peut être intéressante. Ces auteurs ont analysé l'effet d'une exposition lumineuse avant le coucher sur la période de sécrétion de la mélatonine par rapport à une chambre plongée dans l'obscurité. Leurs résultats démontrent, outre le fait que la lumière supprime la mélatonine, elle raccourcit le temps effectif de sécrétion de l'hormone. En effet, la sécrétion de la mélatonine s'arrête au même moment, qu'elle ait commencé plus tôt (condition de pénombre) ou plus tard (condition d'exposition). Par conséquent, la lumière raccourcit la durée de sécrétion de la mélatonine, ce qui propose deux cas de figure intéressants : soit cette durée sera compensée par un « contrecoup », permettant ainsi au corps de sécréter autant de mélatonine sur une durée plus courte, soit la sécrétion totale sera moins importante qu'en condition « normale ». Ces données pourraient avoir un impact concernant la durée et la qualité du sommeil.

Plus loin que cela, il est nécessaire de préciser à nouveau l'impact à long terme sur le système circadien. Plusieurs études concernant les changements et ajustements de phases dues par exemple à un travail nocturne montrent bien l'impact que l'exposition lumineuse peut avoir sur le long terme. Par exemple, l'étude de Stone (2018) démontre qu'une exposition lumineuse pendant plusieurs jours consécutifs, ici 3-4 jours, permet de déphaser le cycle circadien d'un individu d'une durée, en moyenne, de 60 minutes, alors même que les participants ne présentent pas de disposition particulière au travail de nuit. Certains participants ont eu un déphasage

supérieur (3h), apportant des preuves que la réinitialisation de la phase qui se produit est basée sur les modèles individuels d'exposition à la lumière par rapport à la phase circadienne de base d'un individu.

L'effet supérieur de la lumière enrichie en bleue est également consistant avec les données de la littérature, notamment l'étude de Chellapa et al. (2011) citée dans le point « I. Introduction théorique » qui montrait qu'une exposition lumineuse, en soirée, à une lampe fluorescente « froide » (6500K) enrichie en longueur d'onde courte (420 – 520 nm) a un effet plus important qu'une lampe incandescente à 3000K ou une lampe fluorescente « chaude » (2500K). Alors que nous répliquons cet effet de suppression de la mélatonine, une différence persiste dans le fait que ces auteurs ont obtenu ces mêmes résultats avec une intensité lumineuse bien moindre (40lux vs 1500lux) qui apporte une preuve supplémentaire que la longueur d'onde est clairement le facteur crucial à considérer pour une réponse de ce type. On est alors en droit de se demander si l'enrichissement en courte longueur d'onde peut être maximisé avec une surenchère. C'est ce qu'ont testé Brainard et al (2015) en comparant plusieurs enrichissements de lumière, dont une lumière « super enrichie » en bleu. Leurs résultats indiquent que les réponses à la lumière saturent de la même manière pour une lumière à 17 000K et la lumière « super enrichie » en bleu.

Ces deux données mises ensemble sont à même de nous faire réfléchir sur l'impact d'une exposition quotidienne à la lumière de nos écrans. Bien qu'ils ne soient pas enrichis en lumière bleue comme les lumières blanches utilisées dans les études de la littérature, ils en diffusent tout de même. L'étude menée par Wood et al (2013) met en scène différentes conditions d'utilisation d'une tablette, proche du pic de mélatonine. Les participants ont expérimenté les 3 conditions suivantes : l'utilisation simple d'une tablette seule à forte luminosité, l'utilisation d'une tablette, regardée à travers des lunettes à verres clairs équipés de diodes électroluminescentes bleues fournissant une lumière de 40 lux à 470 nm, et l'utilisation d'une tablette regardée à travers une vitre teintée en orange (lumière à 525nm obtenue). Les résultats de cette étude démontrent, comme on peut s'en douter, que le niveau de suppression de mélatonine après une heure d'exposition est significatif concernant les tablettes regardées à travers les lunettes à diodes, mais, plus intéressant, les tablettes seules atteignent aussi un niveau de suppression significatif après 2 heures d'exposition. Les tablettes regardées au travers de la vitre teintée n'ont pas donné de différences significatives de 0. Sur la base de ces résultats, les fabricants d'écrans peuvent déterminer comment leurs produits affecteront les niveaux de mélatonine et utiliser les prédictions du modèle pour ajuster la distribution spectrale de puissance des dispositifs autolumineux pour augmenter ou diminuer la stimulation du système circadien. Ces résultats peuvent également s'appliquer au fait que, dans notre étude, les participants pouvaient regarder un film sur un écran avant l'exposition lumineuse et étaient soumis à cet écran pour la passation des tests également. Cette exposition prolongée, bien que nous ayons tout de même une augmentation graduelle de la mélatonine au long du protocole, pourrait tout de même affecter le taux de mélatonine, mais aussi éventuellement la réponse à l'exposition en tant que telle, puisqu'une exposition, certes moins importante, a déjà été initiée. Néanmoins, la précaution prise concernant l'arrêt de l'écran quelque temps avant l'exposition lumineuse devrait avoir réduit cette probabilité.

Concernant les mesures du cortisol, nous attendions une absence d'effet de la lumière bleue sur le taux de cortisol sécrété, puisqu'il s'agit d'une hormone marquant le début de la phase circadienne du matin et qui n'est que très peu présente à l'approche de la phase de sommeil (Scheer, 1999). En effet, l'unique effet que nous avons mis en évidence est l'effet concernant la session. Comme prévu, nous n'avons observé ni d'effet de la condition lumineuse ni d'interaction entre la session et la nature de la lumière. Ces résultats sont concordants avec la littérature en ce qui concerne les sujets jeunes. De manière intéressante, Gabel et al. (2017), a analysé l'effet d'une exposition à une lumière enrichie en bleue par rapport à une simple lumière blanche chez des sujets jeunes et des sujets âgés privés de sommeil durant 40 heures. Pour les relevés de cortisol, il s'est avéré que le profil de sécrétion du cortisol dans ces conditions suit une sécrétion rythmée sur le cycle circadien, avec un pic le matin, pour les deux groupes de sujets peu importe la condition de lumière et une dégradation au fur et à mesure que l'on se rapproche de la nuit biologique. Par contre, cette étude a révélé un effet de l'âge du sujet sur la réponse à la lumière du cortisol, montrant que chez les personnes âgées, la sécrétion de cortisol était plus importante en condition de lumière bleue, que chez les sujets jeunes. Dans les conditions de lumière blanche et de lumière tamisée, aucune différence n'était significative entre les groupes. Ceci remet donc à l'avant-plan le questionnement par rapport aux effets de la lumière, et plus particulièrement de la lumière bleue, sur les personnes âgées en particulier, et apporte des preuves supplémentaires que l'âge est un facteur influençant l'impact de la lumière sur le fonctionnement cérébral.

Que la lumière n'influe pas la sécrétion de cortisol chez les sujets jeunes en soirée ne signifie pas qu'elle ne peut avoir un effet à d'autre moment de la journée, puisque la sécrétion de cortisol, effet ou non, se calque toujours sur le cycle circadien. On pourrait imaginer qu'une exposition lumineuse au moment opportun, par exemple au moment du pic de cortisol, pourrait avoir un effet sur l'intensité de la sécrétion ou sa vitesse, ou encore augmenter les valeurs sans modifier la courbe. Les études portant sur le sujet sont plutôt divergentes quant à leurs résultats. Si on regarde l'étude de Ivanova et al. (2016), les résultats ne montrent aucun changement significatif de la sécrétion de cortisol lors d'une exposition matinale à une lumière vive blanche par rapport à une lumière rouge. Par contre, Leproult et al (2001) obtiennent une augmentation rapide et importante du cortisol suite à une exposition lumineuse matinale dans le cadre d'une étude avec privation de sommeil. Ces deux études ont des résultats différents, mais cette différence suggère qu'un ou plusieurs facteurs différents entre les deux études pourraient être responsables de la médiation du taux de cortisol par la lumière. Il peut s'agir de la privation de sommeil induite, bien que l'étude de Gabel et al (2017) induise également une privation de sommeil sans montrer d'effet chez les sujets jeunes, ou de la population testée, de l'intensité de la lumière, de l'historique lumineux des participants, et bien d'autres choses encore qui pourraient être explorées.

Dans l'ensemble, nos résultats sont concordants avec les résultats présents dans la littérature en ce qui concerne la modulation des marqueurs circadiens que sont la mélatonine et le cortisol. Ceci suggère que le dispositif lumineux Luminettes© est capable d'apporter ces effets à ces utilisateurs.

2. Discussion à propos de la vigilance

Nos hypothèses concernant la vigilance indiquent un déclin de la vigilance au fur et à mesure que le protocole avance, jusqu'à l'exposition lumineuse. À ce stade, les résultats à la Psychomotor Vigilance Task vont dans ce sens. En effet, les participants voient leurs temps de réaction diminués au fil des sessions et le nombre trous attentionnels, correspondant à un temps de réaction supérieur à 500ms, augmentées. Tous les temps de réaction diminuent, les plus rapides comme les médians et les moins rapides. Cet effet est concordant avec les résultats présents dans la littérature (Chellappa et al., 2011). Cette observation peut s'expliquer par le fait que le rythme circadien s'assemble avec la pression homéostatique du sommeil afin d'amplifier le signal de sommeil lorsque la nuit biologique approche et s'accroît lorsqu'on dépasse le début de cette phase (Czeisler et al. 2007). Deuxièmement, un effet de la condition de lumière était attendu, de sorte que la lumière bleue augmente les performances à la PVT, correspondant à une augmentation de la vigilance. Les résultats obtenus concordent avec notre hypothèse, puisqu'ils démontrent bel et bien un effet principal de la condition lumineuse, dans le sens supposé par nos hypothèses : les performances ne se différencient pas entre les conditions avant l'exposition lumineuse et déclinaient au fil des sessions, mais à partir de l'exposition lumineuse, le nombre de trous attentionnel diminuait en condition bleue. Cet effet est concordant avec la littérature (Rahman et al. 2014 ; 2017). Cependant, toutes les études ne répliquent pas ces résultats, par exemple l'étude de Sletten et al (2017). Ces auteurs ont testé les effets de la lumière bleue (17 000K) sur des travailleurs nocturnes par rapport à une lumière blanche classique (4000K) et n'ont pas trouvé de résultats significatifs concernant les mesures de vigilance. Il en est de même pour l'étude de Paul et al (2007) qui n'ont pas trouvé de résultats significatifs concernant la PVT. Leurs résultats peuvent être expliqués par le fait que leurs participants étaient gênés par la lumière diffusée par le dispositif utilisé dans leur étude, ce qui n'est pas le cas ici.

En outre, notre effet s'est montré persistant : les performances concernant les temps de réaction moyens et rapides étaient améliorées après l'exposition lumineuse bleue, cette période correspondant à la période d'extension de l'éveil. Cet effet est intéressant, car la plupart des études montrent une atténuation de l'effet dès la fin de l'exposition lumineuse, ce qui est en opposition avec nos résultats qui montrent que les effets sont plus importants dans cette période d'extension d'éveil post-exposition que durant l'exposition même. Ces résultats sont explicables par la présence d'une mémoire photique interne à la mélanopsine, gardant une trace de l'historique lumineux (Chang et al., 2012), mais cela n'explique pas pourquoi cet effet n'est pas retrouvé dans la plupart des autres études portant sur le sujet. À nouveau, le questionnement relatif à l'exposition préalable aux écrans pourrait peut-être influencer sur la trace photique, la rendant plus persistante si l'exposition est interprétée comme ininterrompue par le système sous-jacent. La persistance de l'effet n'excède toutefois pas la durée de 30 minutes et, bien qu'il serait intéressant de voir si cet effet est répliquable et si une prolongation nettement supérieure est envisageable, il ne s'agit ici que d'un petit effet. Une autre explication est avancée dans le point « 4. Discussion à propos du confort visuel »

Entre autres, bien que la lumière bleue permet le plus souvent d'augmenter la vigilance nocturne, son application au sein de la vie quotidienne des travailleurs de nuit s'avère délicate. En effet, Touitou et al (2017) ont investigué les effets néfastes de l'exposition lumineuse nocturne et ont déduit que celle-ci influence négativement la durée du sommeil qui s'en trouve diminué et perturbe le rythme circadien, allant même jusqu'à perturber le temps des repas et la

vie sociale en elle-même. Ces impacts négatifs, sur un long terme, influencent de manière significative les pathologies provenant du travail par roulement (Rüger et al, 2009 ; Flynn-Evans et al., 2009). Dans la recherche d'alternative permettant d'éviter ces effets négatifs, il est proposé l'utilisation d'une lumière blanche appauvrie en longueurs d'onde courtes. Ce type de lumière permettrait de garder les effets concernant la vigilance tout en diminuant la suppression de mélatonine, impactant ainsi d'une manière moins importante le rythme circadien endéans la mélatonine (Van der Werken et al, 2013)

3. Discussion à propos de la somnolence subjective

Nos hypothèses suggéraient une augmentation de la somnolence ressentie tout au long du protocole sauf lors de l'exposition à la lumière bleue, censée atténuer le sentiment de fatigue subjectif ou au moins le stabiliser. Nos résultats sont concordants avec le déclin au fur et à mesure des sessions, mais ce déclin n'est pas significativement différent entre les deux conditions si l'on regarde l'interaction entre la session et la condition de lumière. L'effet qu'a le temps sur la somnolence ressentie peut lui aussi être la conséquence au signal envoyé par le ralliement du cycle circadien et de la pression homéostatique du sommeil afin de promouvoir la phase de sommeil et une augmentation importante de la somnolence au plus on dépasse le début de la nuit biologique (Czeisler et al., 2007). Bien qu'explicable de cette manière, l'absence d'effet est tout de même intrigant, car il est usuellement observé dans la littérature. Par exemple, dans l'étude de Cajochen et al. (2005), les participants soumis à une lumière d'une longueur d'onde de 460nm rapportent se sentir moins fatigués que les participants exposés à une lumière d'une longueur d'onde plus longue (550nm). Il en va de même dans l'étude de Chellappa et al. (2011), qui utilise un protocole très proche du nôtre, à la seule différence que l'exposition lumineuse est précédée de 2 heures d'obscurité totale, alors que dans notre étude les sujets restaient plongés dans une lumière tamisée. De plus, si l'on considère l'étude de Lockley et al (2006), il s'avère qu'ils sont parvenus à observer cet effet persister dans le temps suivant l'exposition lumineuse pendant une durée approximative d'une heure. La différence entre notre étude et celle de Lockley et al. (2006) réside dans le fait que leurs sujets n'ont dormi que 8 heures dans les 48 heures précédant l'exposition lumineuse et devaient être soumis à des signaux circadiens de sommeil plus importants. Il est possible que les effets de la lumière soient exacerbés lorsque l'individu se trouve dans des conditions plus extrêmes précédemment à l'exposition, qu'il s'agisse d'une privation de sommeil ou d'une période passée dans le noir complet.

Beaucoup d'études prône le fait que la mélatonine soit le principal facteur de somnolence, preuves à l'appui que l'administration de mélatonine exogène augmente la somnolence d'un individu. Cependant, notre étude n'obtient pas de résultats concernant la réduction de la somnolence ressentie, mais la mélatonine est bel et bien supprimée sous l'exposition lumineuse enrichie en bleu. Ceci remet donc en cause que la mélatonine soit un facteur crucial de la somnolence subjective, puisque même lorsque son taux est faible, l'individu peut se sentir fatigué. De plus dans l'étude de Phipps-Nelson et al. (2003), l'exposition lumineuse réduit la somnolence subjective également de jour, alors que la mélatonine est absente du corps humain.

Aussi, comme cité dans la partie « III. Résultats », les participants se sentaient plus fatigués avant l'exposition lumineuse dans la condition rouge, en comparaison avec la bleue, cependant les deux scores se situaient dans la portion « plutôt alerte » de l'échelle. Cela s'est produit malgré des périodes de veille-sommeil et des sentiments subjectifs de somnolence similaires évalués par l'échelle de somnolence d'Epworth la semaine précédente (cf. Tableau 1)

4. Discussion à propos du confort visuel

Comme les dispositifs du type Luminettes© génèrent de la lumière à une distance très faible, il a été rapporté qu'ils suscitaient un certain inconfort (Paul et al., 2015). Nos résultats sont en désaccord avec ces affirmations, car ils ne montrent aucune différence significative entre la lumière bleue et la lumière rouge en termes de confort visuel rapporté par les participants. La seule différence entre les deux lumières se trouve au niveau de la brillance : la lumière bleue est perçue plus brillante que la rouge. Aussi, les mesures de cortisol attestent qu'aucune modification de type « stress- inconfort » n'a été expérimentée par les sujets, et les participants n'ont rapporté aucun impact négatif de type mal de tête, nausées ou tension oculaire, qui sont les effets secondaires les plus communs concernant la luminothérapie (Pail et al., 2011). À la différence de Paul et al (2015), nos Luminettes© diffusent une lumière d'intensité moins importante (1500 lux comparés à 8000 lux). Certains sujets ont tout de même jugé la lumière bleue quelque peu inconfortable, ce qui peut être dû au fait que la lumière ambiante étant très faible, cela peut augmenter l'effet de contrejour, ce qui suggère que cet inconfort peut s'avérer totalement contrecarrer dans des conditions d'utilisation normale des Luminettes© au sein de la luminothérapie.

Paul et al (2007) rapportent que les performances de la PVT peuvent être gênée par la diffusion lumineuse via ce type de dispositif. Comme nos Luminettes© génèrent globalement moins d'inconfort, mais qu'une certaine brillance est tout de même significativement perçue, il se peut qu'elle ait entravé l'effet maximal que pouvait avoir la lumière sur les performances à la PVT. Cela pourrait expliquer pourquoi l'effet est surtout présent de manière significative après l'exposition, alors qu'il est moins flagrant pendant l'exposition. En effet, la brillance de la lumière diffusée de cette manière pourrait gêner les participants dans la réalisation de la tâche alors que ceux-ci profitent tout de même des effets de la lumière bleue sur leur vigilance, ce qui contrebalancerait l'effet et réduirait son amplitude observable durant l'exposition. L'effet résiduel persistant démontre en effet qu'il y a bel et bien eu un impact de la lumière.

5. Discussion à propos de la tâche de mémoire PDP.

En ce qui concerne nos hypothèses pour la tâche de mémoire, nous avons postulé que la lumière bleue pourrait induire un plus grand nombre d'erreur dû à l'adoption d'une stratégie préférant la vitesse à l'exactitude et, par extension, ferait ressortir une plus grande propension à l'utilisation de processus automatiques par rapport aux processus contrôlés. Cependant nos résultats ne concordent pas avec les hypothèses postulées a-priori.

En effet, nos résultats n'ont pas montré de différences statistiquement significatives entre les performances au test quel que soit la condition lumineuse et le type de tâche (inclusion ou exclusion). Les performances des sujets étaient donc sensiblement pareilles, que la consigne soit exclusive ou inclusive et que l'exposition lumineuse soit bleue ou rouge. Ceci, en plus d'être en désaccord avec nos hypothèses, est également plutôt en désaccord avec la littérature. En effet, la lumière bleue est tout de même souvent associée à une amélioration des performances lors de tâches cognitives simples, mais pas que. En effet, Alkozei et al (2017) ont investigué les effets d'une exposition d'une durée de 30 minutes à des pulsations lumineuses bleues sur une tâche de consolidation mnésique (version abrégée du CVLT, le CVLT-II). Les participants étaient soumis à l'expérience le matin, après avoir passé une bonne nuit et être parfaitement reposés. Leurs résultats rapportent que l'exposition à une lumière bleue faciliterait la consolidation mnésique et la rétention de matériel verbal en mémoire et pourrait donc optimiser la performance mnésique. Notre test de mémoire est à priori plus simple que le test utilisé par Alkozei et al (2017), mais ne demande pas réelle consolidation mnésique. Contrairement à cette étude, nous avons testé les participants le soir, proche de l'heure du coucher. L'effet de la lumière n'est peut-être pas suffisamment puissant que pour améliorer les performances comme elle a pu le faire pour l'étude citée ci-dessus. Cependant, elle n'a pas non plus eu l'effet « délétère » hypothétisé en condition d'exclusion. Cette hypothèse provenant d'une étude mettant en scène une exposition lumineuse durant une tâche complexe (Rodríguez-Morilla et al., 2017), l'effet peut ne pas survenir si la tâche ne présente pas un degré de complexité élevé. En effet, si une tâche est compliquée et demande une grosse charge cognitive, il est possible que l'individu soit susceptible de vouloir décharger une partie de cette charge et donc de verser dans les processus automatiques qui sont peu coûteux afin de mener à terme une tâche chronométrée : il choisira alors la stratégie de la vitesse au détriment de l'exactitude. Comme nous sommes les premiers à investiguer ce genre d'effet, ces réflexions sont personnelles et nécessiteraient d'être vérifiées dans de futures études.

L'effet du type d'item et du type de tâche observés sont des marqueurs indiquant que la tâche fonctionne et que les consignes sont respectées. En effet, le fait de générer plus facilement une réponse « oui » à un item répété par rapport aux nouveaux items reflète le fait que les participants respectent les consignes qui demandent de ne pas reconnaître les nouveaux items. Le fait que les répétitions génèrent des réponses « oui » dans la condition d'inclusion respecte la consigne et ces réponses en condition d'exclusion sont relatives aux erreurs commises par les participants. Ces effets sont concordants avec les effets observés par Jennings et Jacoby (1997)

En ce qui concerne les processus automatiques et contrôlés, les résultats ne démontrent qu'une tendance, en condition de lumière bleue uniquement lors d'une répétition à un intervalle de 32 mots, à une sollicitation moindre des processus automatiques, et donc plus importante des processus contrôlés, bien que cette dernière, une fois corrigée n'apparaisse plus. Ces résultats sont totalement en opposition avec notre hypothèse stipulant que la lumière bleue pourrait promouvoir davantage les processus automatiques. Bien que cette tendance ne soit pas affirmée, elle reste encourageante quant au fait qu'il soit possible d'avoir un résultat avec peut-être un échantillon plus grand, ou une tâche un peu plus complexe, l'effet ne se manifestant

qu'à l'intervalle 32 considéré comme le moment où la tâche s'avère la plus difficile. L'étude menée par Killgore et al (2018) stipule, pour une tâche mnésique réalisée le matin sous exposition à une lumière bleue, le déclin de la mélatonine salivaire est associé à une activation du cortex préfrontal. Ceci pourrait expliquer pourquoi les processus contrôlés sont plus sollicités que les processus automatiques, puisque le cortex frontal fait partie de la gestion des processus complexes de plus haut niveau. Néanmoins, ces résultats, tout comme les effets montrés par Alkozei et al (2017) sont le fruit d'une expérimentation matinale, ce qui pourrait grandement influencer sur l'occurrence des résultats, bien que ceux-ci soient tout de même liés à la suppression de la mélatonine, ce n'est certainement pas un facteur exclusif.

Bien qu'aucun effet n'ait été mis en évidence par cette étude en ce qui concerne la tâche de mémoire PDP, que ce soit au niveau des performances ou de la sollicitation des processus automatiques et contrôlés, cela ne signifie pas qu'il n'y en a pas, mais simplement que ce travail n'en fournit pas les preuves. En effet, une amélioration des performances peut être observée dans d'autres contextes, comme le prouvent les études nommées ci-dessus, une détérioration de la performance a elle aussi été montrée dans l'expérience de Rodriguez-Morilla et al (2017). Récemment, l'étude de Correa et al (2016) supportent la dissociation des processus automatiques et contrôlés au sein d'une tâche d'inhibition de type « Go/NoGo » (la SART), ce qui prouve, encore une fois, que bien que non présent dans cette étude, ils ne sont pas forcément inexistantes et qu'il est nécessaire de continuer la recherche afin d'affiner la documentation sur ce sujet.

6. Discussion relative au dispositif lumineux Luminettes ©

Les Luminettes© sont une nouvelle génération de dispositif lumineux portatif. L'avantage de ce type de dispositif réside dans le fait qu'ils sont suffisamment ergonomiques que pour permettre une utilisation tout en continuant ses activités quotidiennes. Dans un monde où l'on est excessivement occupé et où, pour beaucoup de monde, chaque minute est importante, c'est un avantage considérable de ne pas être considéré comme une « perte de temps ». Cet avantage pourrait pousser les individus pour qui la luminothérapie serait bénéfique à franchir le pas et à entamer une thérapie à l'aide de dispositif comme celui-ci, qui ne gâche pas l'autonomie (Steward et al., 1990).

Ces dispositifs répliquent les résultats des boîtes lumineuses standards dans la réduction des symptômes de dépression et étaient déjà utilisés en remplacement lorsque le traitement via les boîtes devait être interrompu. Certaines études ne sont pas parvenues à avoir de résultats concernant ce genre de dispositifs par rapport à une lumière placebo (Rosenthal et al., 1993). Une explication à cela pourrait être que les longueurs d'onde utilisées en placebo ne sont pas assez éloignées de la longueur d'onde correspondant au bleu. Dans notre étude, en utilisant un placebo à longue longueur d'onde, correspondant au rouge, nous avons mis en évidence un effet de la lumière bleue par rapport à ce placebo, ce qui suppose que les Luminettes© pourraient bel et bien servir pour le traitement de la dépression saisonnière et autre trouble de l'humeur.

Aussi, comme les Luminettes© ont apporté les résultats escomptés sur l'augmentation de la vigilance et la suppression de la mélatonine, elles peuvent dès lors être utilisées afin d'améliorer la qualité du sommeil, de combattre les troubles du sommeil ou encore le « jet lag » ainsi que d'être utilisées par les travailleurs de roulement nocturne afin d'améliorer leur vigilance pour le retour à la maison par exemple. Ce type de dispositif portable est également tout indiqué dans les situations où il est difficile, voire impossible pour l'individu d'être traité via une boîte lumineuse, par exemple dans le cas d'un patient alité.

7. Limites

La première limite, évidente, de cette étude se situe au niveau de la taille de l'échantillon. En effet, cet échantillon de 17 sujets est relativement peu important. Le manque d'effet dans notre étude peut être directement lié au fait de la taille de l'échantillon, de même que l'atteste la petite interaction observée qui une fois corrigée n'apparaît plus significative. Un effectif plus important pourrait faire ressortir des effets non détectés ici et accroître la taille des effets que nous avons mis en évidence.

Une autre limite concerne l'élaboration du groupe contrôle. En effet, afin que les participants ne se doutent pas des effets attendus et ne génèrent pas de biais dans ce sens, nous avons choisi une lumière rouge comme lumière « placebo » cependant, rien ne nous assure que cette lumière n'engendre aucun effet, même si ceux-ci ne sont pas forcément du même acabit que les effets de la lumière bleue. D'ailleurs, l'étude de Sasseville et al (2015) a montré qu'un effet sur l'alerte peut être obtenu avec une exposition lumineuse dépourvue de longueurs d'onde courtes. De plus, notre lumière placebo a une intensité de 150 lux, ce qui est suffisant pour induire une réponse à la lumière (Zeitzer et al., 2000)

Troisièmement, comme suggérer par Paul et al (2007), les performances à la PVT peuvent être gênées par l'intensité lumineuse d'une exposition de ce type. Aussi, il aurait pu être intéressant de privilégier des tâches auditivo-verbales plutôt que visuelle, afin qu'aucun biais ne puisse être induit par la gêne visuelle pouvant être occasionnée, même si celle-ci n'a pas été particulièrement rapportée par nos participants ni relevée par les mesures de cortisol.

Ensuite, l'utilisation d'écrans pendant toute la durée de la session pourrait avoir biaisé les résultats obtenus, même si l'on obtient tout de même des répliques concernant les taux mélatonine, il est connu que les écrans, diffusant souvent une lumière bleutée, impactent sur le sommeil, la somnolence et la mélatonine (Wood et al., 2013).

La dernière limite concerne la diversité de notre échantillon. En effet, nous n'avons recruté que des sujets jeunes et en bonne santé, nos résultats ne sont donc pas interprétables en ce qui concerne les autres populations. Au-delà de cela, il s'avère que la moyenne d'âge est de 22 ans, et en effet, aucun sujet ne dépassait la tranche 20-25 ans ce qui réduit encore un peu la portée de notre étude, bien que les changements physiologiques impactant les réponses à la

lumière sont plutôt situés à l'adolescence et à la vieillesse. Cette limite atteste plutôt de la validité écologique limitée de notre étude, plutôt que sur la validité des résultats qu'elle fournit en tant que tels.

Bien sûr, nous sommes soumis aux limites endéans la procédure de dissociation des processus de Jennings et Jacoby que nous utilisons dans notre protocole. Tout d'abord, cette procédure postule que les processus contrôlés et automatiques, même s'ils travaillent de concert, sont indépendants l'un de l'autre. Or, dans la littérature on retrouve plusieurs hypothèses concernant la relation entre les deux processus. La relation d'indépendance est tout de même vue comme le modèle général, les deux autres étant considérés comme des exceptions. En effet, Jennings et Jacoby (1997) citent 20 études dans lesquelles les résultats concernant la variance des processus observent une autre relation d'indépendance, par exemple par des variables associées avec une réduction du contrôle cognitif laissant les processus automatiques inchangés. Une autre limite de la procédure concerne les consignes relatives à la tâche qui peuvent être perçues comme trop compliquées selon la population qui y est soumise.

V. CONCLUSION

La lumière n'est plus perçue aujourd'hui comme seul facteur permettant la vision. Son effet, particulièrement l'effet de la lumière bleue, va bien au-delà de ça, bien que l'intérêt et les recherches le concernant sont encore assez récents, son importance n'en est pas moindre dans un monde où nous sommes constamment exposés à des écrans, et dans lequel les perturbations de sommeil et d'humeur sont communes.

La lumière a en effet un réel impact sur notre système circadien ainsi que sur nos fonctions cognitives. Cet impact est possible grâce aux cellules ganglionnaires rétiniennes qui expriment la mélanopsine, sensible aux longueurs d'onde $\sim 480\text{nm}$ correspondant à la partie bleue du spectre lumineux. Ces cellules créent des projections dans une grande partie du cortex, ce qui explique le large impact que peut avoir la lumière sur les fonctions cérébrales. La lumière exerce une influence sur le système circadien par le biais notamment de la mélatonine, un facteur important dans la synchronisation des phases circadiennes. Lors d'une exposition à la lumière bleue, la mélatonine diminue, jusqu'à être presque entièrement supprimée. Comme la mélatonine est l'hormone du sommeil, si la lumière l'affecte, elle affecte donc indirectement le sommeil. C'est pourquoi elle est utilisée en thérapie, dans des contextes comme les troubles du sommeil, le « jet lag », ou encore en cas de somnolence importante durant la journée. La lumière influe également sur notre capacité d'alerte, ayant tendance à l'augmenter, par rapport à l'obscurité, et ce peu importe le moment de la journée. De manière moins affirmée, la lumière a tout de même également montré des résultats concernant son influence sur les fonctions cognitives. Même si tous les tenants et aboutissants ne sont pas encore bien connus, on sait tout de même qu'elle augmente les performances au sein de certaines tâches, comme des tâches d'attention ou même de mémoire de travail. Des études en fMRI supportent ces affirmations grâce à des images d'activité cérébrales obtenues sous exposition lumineuse.

L'impact de la lumière est modulé par toute sorte de facteurs. Bien évidemment on retrouve la longueur d'onde, qui doit être préférentiellement une longueur d'onde courte, bien que certaines études aient démontré des effets de lumière dépourvue de courtes longueurs d'ondes, c'est tout de même celles-ci qui génèrent les effets de manière plus perceptible. Ensuite, l'intensité de la lumière peut également influencer l'impact. Bien qu'il soit possible d'avoir un effet sous une intensité relativement faible, l'effet augmente si on augmente l'intensité, avec toutefois une saturation aux fortes intensités. Un troisième facteur est la durée d'exposition, en effet, selon que l'exposition est de quelques minutes ou de plusieurs heures, l'effet ne sera pas le même, même s'il est possible d'avoir un effet relativement rapidement (30 minutes). Plus on veut un effet important, plus on sera susceptible d'exposer une personne longtemps ou de faire plusieurs séances pendant plusieurs jours consécutifs. Le dispositif lumineux et le moment d'administration de la lumière sont eux aussi des facteurs qui influencent l'impact de la lumière. Évidemment, toutes les différences interindividuelles sont également à prendre en compte, tels que l'âge ou le chronotype.

Les résultats de cette étude, certes, mais aussi de toutes les études en particulier sont importants, car ils permettent d'optimiser et de bien comprendre l'impact de la lumière afin de l'utiliser à des fins thérapeutiques. En effet, la lumière est utilisée dans beaucoup de contextes sous le nom de « lumineothérapie ». Par exemple, elle peut être utilisée dans le traitement des troubles du sommeil, des troubles dépressifs, particulièrement saisonniers, dans le cadre d'un travail nocturne ou de « jets lags » (répétitifs ou occasionnels). Récemment, on pense également à utiliser la lumière dans l'accompagnement des personnes âgées, mais cela reste encore relativement exploratoire pour l'instant, bien que des effets aient été trouvés concernant les personnes atteintes d'Alzheimer ou Parkinson par exemple.

Cette étude investigate, en plus de tenter de répliquer les effets déjà connus de la littérature en ce qui concerne la mélatonine et la vigilance, un nouveau dispositif lumineux, les Luminettes®, mais également l'impact de la lumière sur les processus automatiques et contrôlés au sein d'une tâche de mémoire, basée sur la procédure de dissociation des processus (PDP) de Jennings et Jacoby (1997). Les processus automatiques mnésiques sont les processus mis en œuvre inconsciemment, donnant le sentiment de familiarité. Les processus contrôlés sont les processus que l'on met volontairement en place afin de retrouver et/ou resituer un souvenir dans son contexte. La procédure de dissociation permet de calculer la part de chaque processus dans une tâche créée spécialement pour permettre cette procédure. Nous avons hypothétiser que la lumière bleue engendrerait plus d'erreurs liées à une stratégie privilégiant la vitesse au détriment de l'exactitude dans une tâche chronométrée et, en découlement de cela, qu'elle favoriserait l'utilisation de processus automatiques.

Les résultats de cette étude répliquent la littérature concernant les effets de la mélatonine, du cortisol et de la vigilance objective. Sur ce dernier point, les résultats montrent surtout un effet post-exposition, durable pendant les 30 minutes suivant l'exposition. Par contre, en ce qui concerne l'auto-évaluation de somnolence subjective, aucun effet n'a été mis en évidence dans notre étude alors qu'il est largement admis dans la littérature qu'un tel effet est bel et bien

présent habituellement. Concernant l'exploration du lien entre la lumière et les processus automatiques et contrôlés, aucun résultat n'a été particulièrement pertinent. En effet, les seuls effets significatifs montrent simplement le bon respect des consignes relatives à la tâche et l'interaction entre les processus automatiques et la lumière bleue se sont révélées contraires à nos hypothèses : les processus automatiques étaient moins sollicités en condition de lumière bleue, mais cet effet était uniquement présent sur les items d'intervalle 32. Aussi, cette interaction s'est révélée non-significative après correction statistique post-hoc.

Finalement, ce travail permet de confirmer le potentiel stimulateur des Luminettes© sur la suppression de la mélatonine ainsi que sur la vigilance. Le trop petit échantillon de notre étude a probablement contribué au peu d'effet relatif à l'exploration du lien entre lumières et processus automatiques et contrôlés. Cette dimension devra être prise en compte lors de futures recherches, ainsi que toutes les autres limites de cette étude, à savoir la diversité de l'échantillon, l'utilisation d'écrans, l'utilisation de tâches nécessitant les facultés visuelles, et la lumière placebo.

BIBLIOGRAPHIE

- Adam, S. (2003). Nouvelles techniques d'évaluation de la mémoire: Procédure de dissociation des processus et paradigme R/K. In T. Meulemans, B. Desgranges, S. Adam, & F. Eustache (Eds.), *Evaluation et prise en charge des troubles mnésiques* (pp.141-167). Marseille: Solal. *Jacoby 1993*
- Adam, S. (2005). Exploration des processus contrôlés et automatiques dans la maladie d'Alzheimer à un stade débutant. Université de Liège, Liège, Belgique
- Adam S. (2014). L'évaluation de la mémoire implicite. In *Traité de neuropsychologie clinique* (pp. 199-210)
- Arendt, J. (2005). Melatonin: Characteristics, Concerns, and Prospects. *Journal of Biological Rhythms*, 20(4), 291-303. doi:10.1177/0748730405277492
- Arendt, J., & Rajaratnam, S. M. (2008). Melatonin and its agonists: An update. *British Journal of Psychiatry*, 193(04), 267-269. doi:10.1192/bjp.bp.108.050955
- Beck, A. T., Epstein, N., Brown, G., & Steer, R. (1988). Beck Anxiety Inventory. *PsycTESTS Dataset*. doi:10.1037/t02025-000
- Bojkowski, C., Aldhous, M., English, J., Franey, C., Poulton, A., Skene, D., & Arendt, J. (1987). Suppression of Nocturnal Plasma Melatonin and 6-Sulphatoxymelatonin by Bright and Dim Light in Man. *Hormone and Metabolic Research*, 19(09), 437-440. doi:10.1055/s-2007-1011846
- Boulos Z, Macchi MM, Stürchler MP, Stewart KT, Brainard GC, Suhner A, Wallace G, Steffen R (2002) Light visor treatment for jet lag after westward travel across six time zones. *Aviat Space Environ Med* 73:953–963
- Brainard, G. C., Hanifin, J. P., Warfield, B., Stone, M. K., James, M. E., Ayers, M., . . . Rollag, M. (2015). Short-wavelength enrichment of polychromatic light enhances human melatonin suppression potency. *Journal of Pineal Research*, 58(3), 352-361. doi:10.1111/jpi.12221
- Buysse, D. J., Reynolds, C. F., Monk, T. H., Berman, S. R., & Kupfer, D. J. (1989). The Pittsburgh sleep quality index: A new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Research*, 28(2), 193-213.
- Cajochen C., Munch M., Kriebel K., Kräuchi K., Steiner R., Oelhafen P., Orgul S., and Wirz-Justice A. 2005. High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 90: 1311.
- Chang, A., Santhi, N., Hilaire, M. S., Gronfier, C., Bradstreet, D. S., Duffy, J. F., . . . Czeisler, C. A. (2012). Human responses to bright light of different durations. *The Journal of Physiology*, 590(13), 3103-3112. doi:10.1113/jphysiol.2011.226555
- Chellappa, S. L., Gordijn, M., & Cajochen, C. (2011). Can light make us bright ? Effects of light on cognition sleep. In G. Kerkhof & H.-P.-A. Van Dongen (Eds.), *Progress in brain research* (Vol. 190, pp.119-132).

- Chellappa, S. L., Steiner, R., Blattner, P., Oelhafen, P., Götz, T., & Cajochen, C. (2011). Non-visual effects of light on melatonin, alertness and cognitive performance: Can blue-enriched light keep us alert? *PLoS ONE*, 6(1). doi:10.1371/journal.pone.0016429
- Chen, P., Hao, W., Rife, L., Wang, X. P., Shen, D., Chen, J., . . . Fong, H. K. (2001). A photic visual cycle of rhodopsin regeneration is dependent on Rgr. *Nature Genetics*, 28(3), 256-260. doi:10.1038/90089
- Claustrat B, Brun J, Borson-Chazot F, Cohen-Tannoudji D, Claustrat F, Julien J, Lemoine P (2010). Suppression of melatonin secretion in healthy subjects with eyeglass LED delivery system. *Neuro Endocrinol Lett.* 2010;31(3):330-5.
- Czeisler, C. A., & Gooley, J. J. (2007). Sleep and Circadian Rhythms in Humans. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 72(1), 579-597. doi:10.1101/sqb.2007.72.064
- Czeisler, C. A., Shanahan, T. L., Klerman, E. B., Martens, H., Brotman, D. J., Emens, J. S., . . . Rizzo, J. F. (1995). Suppression of Melatonin Secretion in Some Blind Patients by Exposure to Bright Light. *New England Journal of Medicine*, 332(1), 6-11. doi:10.1056/nejm199501053320102
- Daneault, V., Hébert, M., Albouy, G., Doyon, J., Dumont, M., Carrier, J., & Vandewalle, G. (2014). Aging Reduces the Stimulating Effect of Blue Light on Cognitive Brain Functions. *Sleep*, 37(1), 85-96. doi:10.5665/sleep.3314
- Dewan, K., Benloucif, S., Reid, K., Wolfe, L. F., & Zee, P. C. (2011). Light-induced changes of the circadian clock of humans: Increasing duration is more effective than increasing light intensity. *Sleep*, 34, 593–599.
- Dijk, D., Shanahan, T. L., Duffy, J. F., Ronda, J. M., & Czeisler, C. A. (1997). Variation of electroencephalographic activity during non-rapid eye movement and rapid eye movement sleep with phase of circadian melatonin rhythm in humans. *The Journal of Physiology*, 505(3), 851-858. doi:10.1111/j.1469-7793.1997.851ba.x
- Dollins A.B., Zhdanova I.V., Wurtman R.J., Lynch H.J., and Deng M.H. 1994. Effect of inducing nocturnal serum melatonin concentrations in daytime on sleep, mood, body temperature, and performance. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 91: 1824
- Duffy, J. F., Kronauer, R. E., & Czeisler, C. A. (1996). Phase-shifting human circadian rhythms: Influence of sleep timing, social contact and light exposure. *The Journal of Physiology*, 495(1), 289-297. doi:10.1113/jphysiol.1996.sp021593
- Eastman, C. I., Liu, L., & Fogg, L. F. (1995). Circadian Rhythm Adaptation to Simulated Night Shift Work: Effect of Nocturnal Bright-Light Duration. *Sleep*, 18(6), 399-407. doi:10.1093/sleep/18.6.399
- Eastman, C. I., Young, M. A., Fogg, L. F., Liu, L., & Meaden, P. M. (1998). Bright Light Treatment of Winter Depression. *Archives of General Psychiatry*, 55(10), 883. doi:10.1001/archpsyc.55.10.883

- Flynn-Evans, E. E., Stevens, R. G., Tabandeh, H., Schernhammer, E. S., & Lockley, S. W. (2009). Total visual blindness is protective against breast cancer. *Cancer Causes & Control*, 20(9), 1753-1756. doi:10.1007/s10552-009-9405-0
- Freyheit, S. (2009). La luminothérapie et ses principales applications. *Th D Pharm, Nancy*.
- Gabel, V., Reichert, C. F., Maire, M., Schmidt, C., Schlangen, L. J., Kolodyazhniy, V., . . . Viola, A. U. (2017). Differential impact in young and older individuals of blue-enriched white light on circadian physiology and alertness during sustained wakefulness. *Scientific Reports*, 7(1). doi:10.1038/s41598-017-07060-8
- Gaggioni, G., Maquet, P., Schmidt, C., Dijk, D., & Vandewalle, G. (2014). Neuroimaging, cognition, light and circadian rhythms. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 8. doi:10.3389/fnsys.2014.00126
- Golden RN, Gaynes BN, Ekstrom RD, Hamer RM, Jacobsen FM, Suppes T, Wisner KL, Nemeroff CB *The efficacy of light therapy in the treatment of mood disorders : a review and a meta-analysis of the evidence*. Am J Psychiatry, 2005; 162 : 656-662
- Gooley, J. J., Chamberlain, K., Smith, K. A., Khalsa, S. B., Rajaratnam, S. M., Reen, E. V., . . . Lockley, S. W. (2011). Exposure to Room Light before Bedtime Suppresses Melatonin Onset and Shortens Melatonin Duration in Humans. *Endocrinology*, 152(2), 742-742. doi:10.1210/endo.152.2.zee742
- Graf, P., & Mandler, G. (1984). Activation makes words more accessible, but not necessarily more retrievable. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 23(5), 553-568. doi:10.1016/s0022-5371(84)90346-3
- Hatori, M., & Panda, S. (2010). The emerging roles of melanopsin in behavioral adaptation to light. *Trends in Molecular Medicine*, 16(10), 435-446. doi:10.1016/j.molmed.2010.07.005
- Hattar, S. (2002). Melanopsin-Containing Retinal Ganglion Cells: Architecture, Projections, and Intrinsic Photosensitivity. *Science*, 295(5557), 1065-1070. doi:10.1126/science.1069609
- Horne, J. A., & Östberg, O. (1976). A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *National Journal of Chronobiology*, 4, 97-110.
- Ivanova, I. A., Danilenko, K. V., & Aftanas, L. I. (2016). Investigation of an Immediate Effect of Bright Light on Oxygen Consumption, Heart Rate, Cortisol, and α -Amylase in Seasonal Affective Disorder Subjects and Healthy Controls. *Neuropsychobiology*, 74(4), 219-225. doi:10.1159/000477248
- Jennings, J. M., & Jacoby, L. L. (1997). An opposition procedure for detecting age-related deficits in recollection: Telling effects of repetition. *Psychology and Aging*, 12(2), 352-361. doi:10.1037//0882-7974.12.2.352
- Lam RW, Buchanan A, Mador JA, Corral MR, Remick RA *The effects of ultraviolet-A wavelengths in light therapy for seasonal depression*. J Affect Disord, 1992 ; 24 : 237-243

- Lek, R. F. (2008). Effect of Bright Light and Melatonin on Cognitive and Noncognitive Function in Elderly Residents of Group Care Facilities. *Jama*, 299(22), 2642. doi:10.1001/jama.299.22.2642
- Leproult, R., Colecchia, E. F., L'Hermite-Baleriaux, M., & Van Cauter, E. (2001). Transition from dim to bright light in the morning induces an immediate elevation of cortisol levels. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 86, 151-157
- Lewy AJ, Bauer VK, Cutler NL, Sack RL, Ahmed S, Thomas KH, Blood ML, Jackson JM (1998). Morning vs evening light treatment of patients with winter depression. *Arch Gen Psychiatry* 1998; 55 : 890-896
- Lewy, A., Wehr, T., Goodwin, F., Newsome, D., & Markey, S. (1980). Light suppresses melatonin secretion in humans. *Science*, 210(4475), 1267-1269. doi:10.1126/science.7434030
- Light visor maintenance of light box response. (1997). *American Journal of Psychiatry*, 154(8). doi:10.1176/ajp.154.8.1172a
- Maharaj, D. S., Maharaj, H., Daya, S., & Glass, B. D. (2006). Melatonin and 6-hydroxymelatonin protect against iron-induced neurotoxicity. *Journal of Neurochemistry*, 96(1), 78-81. doi:10.1111/j.1471-4159.2005.03532.x
- Mishima, K., Hishikawa, Y., & Okawa, M. (1998). Randomized, DIM Light Controlled, Crossover test of Morning Bright Light Therapy for Rest-Activity Rhythm Disorders in Patients with Vascular Dementia and Dementia of Alzheimers type. *Chronobiology International*, 15(6), 647-654. doi:10.3109/07420529808993200
- Morgenthaler TI, Lee-Chiong T, Alessi C, Friedman L, Aurora RN, Boehlecke B, Brown T, Chesson AL Jr, Kapur V, Maganti R, Owens J, Pancer J, Swick TJ, Zak R, Standards of Practice Committee of the American Academy of Sleep Medicine. *Sleep*. 2007 Nov; 30(11):1445-59
- Pail, G., Huf, W., Pjrek, E., Winkler, D., Willeit, M., Praschak-Rieder, N., & Kasper, S. (2011). Bright-Light Therapy in the Treatment of Mood Disorders. *Neuropsychobiology*, 64(3), 152-162. doi:10.1159/000328950
- Panda, S. (2002). Melanopsin (Opn4) Requirement for Normal Light-Induced Circadian Phase Shifting. *Science*, 298(5601), 2213-2216. doi:10.1126/science.1076848
- Paul, M. A., Love, R. J., Hawton, A., Brett, K., McCreary, D. R., & Arendt, J. (2015). Light Treatment Improves Sleep Quality and Negative Affectiveness in High Arctic Residents During Winter. *Photochemistry and Photobiology*, 91(3), 567-573. doi:10.1111/php.12418
- Paul MA, Miller JC, Gray G, Buick F, Blazeski S, Arendt J (2007) Circadian phase delay induced by phototherapeutic devices. *Aviat Space Environ Med* 78:645–652
- Phipps-Nelson, J., Redman, J. R., Dijk, D., & Rajaratnam, S. M. (2003). Daytime Exposure to Bright Light, as Compared to Dim Light, Decreases Sleepiness and Improves Psychomotor Vigilance Performance. *Sleep*, 26(6), 695-700. doi:10.1093/sleep/26.6.695

- Phipps-Nelson, J., Redman, J. R., Schlangen, L. J., & Rajaratnam, S. M. (2009). BLUE LIGHT Exposure Reduces Objective Measures of Sleepiness during Prolonged Nighttime Performance Testing. *Chronobiology International*, 26(5), 891-912. doi:10.1080/07420520903044364
- Rahman, S. A., Flynn-Evans, E. E., Aeschbach, D., Brainard, G. C., Czeisler, C. A., & Lockley, S. W. (2014). Diurnal Spectral Sensitivity of the Acute Alerting Effects of Light. *Sleep*, 37(2), 271-281. doi:10.5665/sleep.3396
- Rahman, S. A., Hilaire, M. A., & Lockley, S. W. (2017). The effects of spectral tuning of evening ambient light on melatonin suppression, alertness and sleep. *Physiology & Behavior*, 177, 221-229. doi:10.1016/j.physbeh.2017.05.002
- Rajaratnam, S. M., Dijk, D., Middleton, B., Stone, B. M., & Arendt, J. (2003). Melatonin Phase-Shifts Human Circadian Rhythms with No Evidence of Changes in the Duration of Endogenous Melatonin Secretion or the 24-Hour Production of Reproductive Hormones. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 88(9), 4303-4309. doi:10.1210/jc.2003-030460
- Reiter, R. J. (1995). The pineal gland and melatonin in relation to aging: A summary of the theories and of the data. *Experimental Gerontology*, 30(3-4), 199-212. doi:10.1016/0531-5565(94)00045-5
- Revell, V. L., Arendt, J., Fogg, L. F., & Skene, D. J. (2006). Alerting effects of light are sensitive to very short wavelengths. *Neuroscience Letters*, 399(1-2), 96-100. doi:10.1016/j.neulet.2006.01.032
- Rosenthal, N. E. (1984). Seasonal Affective Disorder. *Archives of General Psychiatry*, 41(1), 72. doi:10.1001/archpsyc.1984.01790120076010
- Rosenthal, N., Brandt, G., & Wehr, T. (1987). Seasonal pattern assessment questionnaire. *National Institute of Mental Health, Bethesda, MD*.
- Rosenthal NE, Sack DA, Gillin JC, Lewy AJ, Goodwin FK, Davenport Y, et al. (1994) Seasonal affective disorder. A description of the syndrome and preliminary findings with light therapy. *Arch Gen Psychiatry*, 41:72-80
- Ruby, N. F. (2002). Role of Melanopsin in Circadian Responses to Light. *Science*, 298(5601), 2211-2213. doi:10.1126/science.1076701
- Rüger, M., Gordijn, M. C., Beersma, D. G., Vries, B. D., & Daan, S. (2006). Time-of-day-dependent effects of bright light exposure on human psychophysiology: Comparison of daytime and nighttime exposure. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 290(5). doi:10.1152/ajpregu.00121.2005
- Rüger, M., & Scheer, F. A. (2009). Effects of circadian disruption on the cardiometabolic system. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*, 10(4), 245-260. doi:10.1007/s11154-009-9122-8

- Schacter, D. L. (1992). Understanding implicit memory: A cognitive neuroscience approach. *American Psychologist*, 47(4), 559-569. doi:10.1037//0003-066x.47.4.559
- Scheer, F. A. J. L., Van Doornen, L. J. P., & Buijs, R. M. (2004). Light and diurnal cycle affect autonomic cardiac balance in human; Possible role for the biological clock. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*, 110(1), 44-48. doi:10.1016/j.autneu.2003.03.001
- Schmidt, C., Peigneux, P., Leclercq, Y., Sterpenich, V., Vandewalle, G., Phillips, C.,... Collette, F. (2012). Circadian preference modulates the neural substrate of conflict processing across the day. *PLoS ONE*, 7:e29658. doi: 10.1371/journal.pone. 0029658
- Smith, M. R., & Eastman, C. I. (2009). Phase Delaying the Human Circadian Clock with Blue-Enriched Polychromatic Light. *Chronobiology International*, 26(4), 709-725. doi:10.1080/07420520902927742
- Smith, S. S., Oei, T. P., Douglas, J. A., Brown, I., Jorgensen, G., & Andrews, J. (2008). Confirmatory factor analysis of the Epworth Sleepiness Scale (ESS) in patients with obstructive sleep apnoea. *Sleep Medicine*, 9(7), 739-744. doi:10.1016/j.sleep.2007.08.004
- Steer, R. A., Ranieri, W. F., Beck, A. T., & Clark, D. A. (1993). Further evidence for the validity of the beck anxiety inventory with psychiatric outpatients. *Journal of Anxiety Disorders*, 7(3), 195-205. doi:10.1016/0887-6185(93)90002-3
- Steer, R. A., Ball, R., Ranieri, W. F., & Beck, A. T. (1997). Further Evidence for the Construct Validity of the Beck Depression Inventory-II with Psychiatric Outpatients. *Psychological Reports*, 80(2), 443-446. doi:10.2466/pr0.1997.80.2.443
- Stewart, K. T., Gaddy, J. R., Benson, D. M., Byrne, B., Doghramji, K., & Brainard, G. C. (1990). Treatment of winter depression with a portable, head-mounted phototherapy device. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 14(4), 569-578. doi:10.1016/0278-5846(90)90008-5
- Stone, J., Sletten, T., Magee, M., Howard, M., Lockley, S., & Rajaratnam, S. (2017). Temporal dynamics of circadian phase shifting response to consecutive night shifts in healthcare workers: Role of light-dark exposure. *Sleep Medicine*, 40. doi:10.1016/j.sleep.2017.11.926
- Terman, J. S., Terman, M., & Amira, L. (1994). One-week light treatment of winter depression near its onset: The time course of relapse. *Depression*, 2(1), 20-31. doi:10.1002/depr.3050020103
- Terman, M., Terman, J. S., & Ross, D. C. (1998). A Controlled Trial of Timed Bright Light and Negative Air Ionization for Treatment of Winter Depression. *Archives of General Psychiatry*, 55(10), 875. doi:10.1001/archpsyc.55.10.875
- Thorn, L., Hucklebridge, F., Esgate, A., Evans, P., & Clow, A. (2004). The effect of dawn simulation on the cortisol response to awakening in healthy participants. *Psychoneuroendocrinology*, 29(7), 925-930. doi:10.1016/j.psyneuen.2003.08.005
- Valberg, Arne (2005). *Light, vision, color*. John Wiley & sons, Chichester

- Vandewalle, G., Balteau, E., Phillips, C., Degueldre, C., Moreau, V., Sterpenich, V., . . . Maquet, P. (2006). Daytime Light Exposure Dynamically Enhances Brain Responses. *Current Biology*, 16(16), 1616-1621. doi:10.1016/j.cub.2006.06.031
- Warman, V. L., Dijk, D., Warman, G. R., Arendt, J., & Skene, D. J. (2003). Phase advancing human circadian rhythms with short wavelength light. *Neuroscience Letters*, 342(1-2), 37-40. doi:10.1016/s0304-3940(03)00223-4
- Werken, M. V., Giménez, M. C., Vries, B. D., Beersma, D. G., & Gordijn, M. C. (2013). Short-wavelength attenuated polychromatic white light during work at night: Limited melatonin suppression without substantial decline of alertness. *Chronobiology International*, 30(7), 843-854. doi:10.3109/07420528.2013.773440
- Wood, B., Rea, M. S., Plitnick, B., & Figueiro, M. G. (2013). Light level and duration of exposure determine the impact of self-luminous tablets on melatonin suppression. *Applied Ergonomics*, 44(2), 237-240. doi:10.1016/j.apergo.2012.07.008
- Wulff, K., Joyce, E., Middleton, B., Dijk, D., & Foster, R. G. (2006). The suitability of actigraphy, diary data, and urinary melatonin profiles for quantitative assessment of sleep disturbances in schizophrenia: A case report. *Chronobiology International*, 23(1-2), 485-495. doi:10.1080/07420520500545987
- Wyatt, J. K., Cecco, A. R., Czeisler, C. A., & Dijk, D. (1999). Circadian temperature and melatonin rhythms, sleep, and neurobehavioral function in humans living on a 20-h day. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 277(4). doi:10.1152/ajpregu.1999.277.4.r1152
- Wyatt, J. K., Cecco, A. R., Czeisler, C. A., & Dijk, D. (1999). Circadian temperature and melatonin rhythms, sleep, and neurobehavioral function in humans living on a 20-h day. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 277(4). doi:10.1152/ajpregu.1999.277.4.r1152
- Wyatt, J. K., Dijk, D., Cecco, A. R., Ronda, J. M., & Czeisler, C. A. (2006). Sleep-Facilitating Effect of Exogenous Melatonin in Healthy Young Men and Women Is Circadian-Phase Dependent. *Sleep*, 29(5), 609-618. doi:10.1093/sleep/29.5.609
- Zeitzer, J. M., Dijk, D., Kronauer, R. E., Brown, E. N., & Czeisler, C. A. (2000). Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: Melatonin phase resetting and suppression. *The Journal of Physiology*, 526(3), 695-702. doi:10.1111/j.1469-7793.2000.00695.x
- Zeitzer, J. M., Dijk, D., Kronauer, R. E., Brown, E. N., & Czeisler, C. A. (2000). Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: Melatonin phase resetting and suppression. *The Journal of Physiology*, 526(3), 695-702. doi:10.1111/j.1469-7793.2000.00695.x

ANNEXES

Consignes: tâche de reconnaissance

PDP par Stéphane Adam

Condition EXCLUSION

Phase d'encodage : Des mots vont vous être présentés un à un. Je vous demande de les lire à voix haute et de les mémoriser. Un test de reconnaissance va suivre, pendant lequel, je vous demanderai de reconnaître ces mots.

Phase de reconnaissance : Des mots vont vous être présentés un à un. Pour chaque mot, je vous demande de décider s'il s'agit d'un mot que vous avez lu à voix haute lors de la phase précédente. Si le mot faisait partie de la liste des mots présentés pendant la première phase, je vous demande d'appuyer sur « X » pour oui. Attention, il y aura des nouveaux mots qui seront répétés pendant cette phase. Si le mot est un nouveau ou un nouveau mot répété, je vous demande d'appuyer sur « N » pour dire qu'il ne s'agit pas d'un mot de la première phase. Les mots de la phase 1 ne seront jamais répétés pendant cette phase de l'étude. Si vous reconnaissez un mot qui a déjà été affiché pendant cette phase (phase test, mot répété), je vous demande de répondre par non.

Condition INCLUSION

Phase d'encodage : Des mots vont vous être présentés un à un. Je vous demande de les lire à voix haute et de les mémoriser. Un test de reconnaissance va suivre, pendant lequel, je vous demanderai de reconnaître ces mots.

Phase de reconnaissance : Des mots vont vous être présentés un à un. Pour chaque mot, je vous demande de décider s'il s'agit d'un mot que vous avez déjà vu avant (que ce soit pendant la phase précédente ou pendant la phase de test (mot répété). Si oui, je vous demande d'appuyer sur « X » pour signaler que « oui, j'ai déjà vu ce mot une fois ». Si vous voyez le mot pour la première fois, je vous demande d'appuyer sur N pour, « non je n'ai jamais vu ce mot ».

Pour info :

24 items à l'encodage

72 items au test (24 cibles, 12 nouveaux avec répétition à intervalle 8, 12 nouveaux avec répétition à intervalle 16, 24 nouveaux sans répétition)

Mots issues de « JacoRéé – Clé08'16.xls » : version j (A), a (B), b (C), c(D)

2 secondes de présentation à l'encodage

Agenda de sommeil

Vous devez remplir ce tableau après chaque nuit

Date	Heure du coucher	Heure à laquelle vous avez essayé de dormir	Heure à laquelle vous vous êtes endormi	Nombre de réveils pendant la nuit	Temps total éveillé pendant la nuit	Heure du réveil	Heure du lever	Qualité de votre sommeil

NB : pour donner la qualité de votre sommeil, utilisez l'échelle suivante :

Meilleur sommeil de votre vie 1 2 3 4 5 6 7 8 9 Pire sommeil de votre vie

BAI

Inventaire de Beck pour l'anxiété

Nom : Prénom Date Résultat

Voici la liste de symptômes courants dus à l'anxiété. Veuillez lire chaque symptôme attentivement. Indiquez, en encerclant le chiffre approprié, à quel degré vous avez été affecté par chacun de ces symptômes **au cours de la semaine dernière, aujourd'hui inclus**.

	Au cours des derniers jours, j'ai été affecté par ...	Pas du tout	Un peu. ça ne m'a pas beaucoup dérangé(e) 1	Modérément. C'était très déplaisant mais supportable 2	Beaucoup Je pouvais à peine le supporter 3
1.	Sensation d'engourdissement ou de picotement	0			
2.	Bouffées de chaleur	0	1	2	3
3.	« Jambes molles », tremblements dans les jambes	0	1	2	3
4.	Incapacité à se détendre	0	1	2	3
5.	Crainte que le pire ne survienne	0	1	2	3
6.	Etourdissements ou vertiges, désorientation	0	1	2	3
7.	Battements cardiaques marqués ou rapides	0	1	2	3
8.	Mal assuré(e), manque d'assurance dans mes mouvements	0	1	2	3
9.	Je suis terrifié(e)	0	1	2	3
10.	Nervosité	0	1	2	3
11.	Sensation d'étouffement	0	1	2	3
12.	Tremblements des mains	0	1	2	3
13.	Tremblements, je suis chancelant(e)	0	1	2	3
14.	Crainte de perdre le contrôle de soi	0	1	2	3
15.	Respiration difficile	0	1	2	3
16.	Peur de mourir	0	1	2	3
17.	Sensation de peur, j'ai la frousse	0	1	2	3
18.	Indigestion ou malaise abdominal	0	1	2	3
19.	Sensation de défaillance ou d'évanouissement	0	1	2	3
20.	Rougisement du visage	0	1	2	3
21.	Transpiration (non associée à la chaleur)	0	1	2	3

BDI



Date:

année / mois / jour

Nom _____ Situation de famille _____ ☐ marié(e) ☐ vivant maritalement

☐ divorcé(e) ☐ veuf(ve)

☐ séparé(e) ☐ célibataire

Âge _____ Sexe _____ ☐ M ☐ F Profession _____ Niveau d'études _____

Consigne: Ce questionnaire comporte 21 groupes d'énoncés. Veuillez lire avec soin chacun de ces groupes puis, dans chaque groupe, choisissez l'énoncé qui décrit le mieux comment vous vous êtes senti(e) au cours des deux dernières semaines, incluant aujourd'hui. Encerclez alors le chiffre placé devant l'énoncé que vous avez choisi. Si, dans un groupe d'énoncés, vous en trouvez plusieurs qui semblent décrire également bien ce que vous ressentez, choisissez celui qui a le chiffre le plus élevé et encerclez ce chiffre. Assurez-vous bien de ne choisir qu'un seul énoncé dans chaque groupe, y compris le groupe n° 16 (modifications dans les habitudes de sommeil) et le groupe n° 18 (modifications de l'appétit).

1 Tristesse

- 0 Je ne me sens pas triste.
- 1 Je me sens très souvent triste.
- 2 Je suis tout le temps triste.
- 3 Je suis si triste ou si malheureux(se), que ce n'est pas supportable.

2 Pessimisme

- 0 Je ne suis pas découragé(e) face à mon avenir.
- 1 Je me sens plus découragé(e) qu'avant face à mon avenir.
- 2 Je ne m'attends pas à ce que les choses s'arrangent pour moi.
- 3 J'ai le sentiment que mon avenir est sans espoir et qu'il ne peut qu'empirer.

3 Échecs dans le passé

- 0 Je n'ai pas le sentiment d'avoir échoué dans la vie, d'être un(e) raté(e).
- 1 J'ai échoué plus souvent que je n'aurais dû.
- 2 Quand je pense à mon passé, je constate un grand nombre d'échecs.
- 3 J'ai le sentiment d'avoir complètement raté ma vie.

4 Perte de plaisir

- 0 J'éprouve toujours autant de plaisir qu'avant aux choses qui me plaisent.
- 1 Je n'éprouve pas autant de plaisir aux choses qu'avant.
- 2 J'éprouve très peu de plaisir aux choses qui me plaisaient habituellement.
- 3 Je n'éprouve aucun plaisir aux choses qui me plaisaient habituellement.

5 Sentiments de culpabilité

- 0 Je ne me sens pas particulièrement coupable.
- 1 Je me sens coupable pour bien des choses que j'ai faites ou que j'aurais dû faire.
- 2 Je me sens coupable la plupart du temps.
- 3 Je me sens tout le temps coupable.

6 Sentiment d'être puni(e)

- 0 Je n'ai pas le sentiment d'être puni(e).
- 1 Je sens que je pourrais être puni(e).
- 2 Je m'attends à être puni(e).
- 3 J'ai le sentiment d'être puni(e).

7 Sentiments négatifs envers soi-même

- 0 Mes sentiments envers moi-même n'ont pas changé.
- 1 J'ai perdu confiance en moi.
- 2 Je suis déçu(e) par moi-même.
- 3 Je ne m'aime pas du tout.

8 Attitude critique envers soi

- 0 Je ne me blâme pas ou ne me critique pas plus que d'habitude.
- 1 Je suis plus critique envers moi-même que je ne l'étais.
- 2 Je me reproche tous mes défauts.
- 3 Je me reproche tous les malheurs qui arrivent.

9 Pensées ou désirs de suicide

- 0 Je ne pense pas du tout à me suicider.
- 1 Il m'arrive de penser à me suicider, mais je ne le ferais pas.
- 2 J'aimerais me suicider.
- 3 Je me suiciderais si l'occasion se présentait.



Affiliated Company Assessment Company
Toronto London Sacramento Sydney



Sous-total, page 1

Verso

Copyright © 1997 par Aaron T. Beck
Tous droits réservés. Toute reproduction ou transmission, même partielle, de cet ouvrage par quelque procédé que ce soit, électronique, mécanique ou autre, y compris la photocopie, les bandes magnétiques et les systèmes d'emmagasinage et d'extraction de l'information, sans la permission écrite de l'éditeur, est interdite. Imprimé au Canada.

0-7747-5230-0

CHRONOTYPE

Questionnaire de chronotype de Horne et Ostberg

Instructions:

1. Lisez attentivement chaque question avant d'y répondre.
2. Répondez à toutes les questions.
3. Répondez aux questions dans l'ordre.
4. Vous pouvez répondre aux questions les unes indépendamment des autres. Ne revenez pas en arrière pour vérifier votre réponse.
5. Pour les questions à choix multiples, mettez une croix devant une seule réponse. Pour les échelles, placez une croix au point approprié.
6. Répondez à chaque question aussi sincèrement que possible. Vos réponses et les résultats de ce questionnaire resteront confidentiels.

Si vous viviez à votre rythme (celui qui vous plaît le plus), à quelle heure vous lèveriez-vous étant entièrement libre d'organiser votre journée?



Si vous viviez à votre rythme (celui qui vous plaît le plus), à quelle heure vous mettriez-vous au lit étant entièrement libre d'organiser votre journée?



Si vous deviez vous lever à une heure précise, le réveil vous est-il indispensable?

- ☐ Pas du tout
- ☐ Peu
- ☐ Assez
- ☐ Beaucoup

ECHELLE DE SOMNOLENCE

Échelle de Somnolence d'Epworth

La somnolence est la propension plus ou moins irrésistible à s'endormir si l'on n'est pas stimulé.

(Nb. Ce sentiment est très distinct de la sensation de fatigue qui parfois oblige à se reposer).

Au cours de **la dernière semaine**, quelle était la probabilité de vous assoupir (vous laisser aller doucement au sommeil, vous endormir à moitié) lors des situations suivantes?

Même si vous ne vous êtes pas trouvé récemment dans l'une de ces situations, essayez d'imaginer comment vous réagiriez et quelles seraient vos chances d'assoupissement.

Pour répondre, utilisez l'échelle suivante en choisissant le chiffre le plus approprié pour chaque situation :

- 0 = jamais d'assoupissement
- 1 = peu de chance d'assoupissement
- 2 = chance modérée d'assoupissement
- 3 = forte chance d'assoupissement

Situations

- Assis(e) à lire _____ 0-1-2-3
- Assis(e) à regarder la télévision _____ 0-1-2-3
- Assis(e) inactif(ve) dans un lieu public (cinéma, théâtre, réunion) _____ 0-1-2-3
- Assis(e) comme passager d'une voiture (ou d'un transport en commun) roulant depuis plus d'une heure sans interruption _____ 0-1-2-3
- Allongé(e) dans l'après-midi lorsque les circonstances le permettent _____ 0-1-2-3
- Assis(e) à parler avec quelqu'un _____ 0-1-2-3
- Assis(e) au calme après un repas sans alcool _____ 0-1-2-3
- Dans une voiture arrêtée dans le trafic ou au feu rouge _____ 0-1-2-3

KSS

KSS (Karolinska Sleepiness Scale)

Veuillez, sur l'échelle suivante, entourer le chiffre correspondant le mieux à votre niveau d'éveil actuel.

- 1 Extrêmement alerte et éveillé(e)
- 2
- 3 Alert(e) et éveillé(e)
- 4
- 5 Ni éveillé(e), ni somnolent(e)
- 6
- 7 Somnolent(e), mais pas de difficultés à rester éveillé(e)
- 8
- 9 Extrêmement somnolent(e); combat le sommeil; difficultés à rester éveillé(e)

PSQI

CENTRE DU SOMMEIL ET DE LA VIGILANCE HÔTEL-DIEU, PARIS



Index de Qualité du Sommeil de Pittsburgh (PSQI)

NOM : PRÉNOM :

Date de naissance :/...../..... Date de ce jour :/...../.....

Les questions suivantes ont trait à vos habitudes de sommeil pendant le dernier mois seulement. Vos réponses doivent indiquer ce qui correspond aux expériences que vous avez eues pendant la majorité des jours et des nuits au cours du dernier mois. Répondez à toutes les questions.

1/ Au cours du mois dernier, quand êtes-vous habituellement allé vous coucher le soir ?

→ Heure habituelle du coucher :

2/ Au cours du mois dernier, combien vous a-t-il habituellement fallu de temps (en minutes) pour vous endormir chaque soir ?

→ Nombre de minutes :

3/ Au cours du mois dernier, quand vous êtes-vous habituellement levé le matin ?

→ Heure habituelle du lever :

4/ Au cours du mois dernier, combien d'heures de sommeil effectif avez-vous eu chaque nuit ? (Ce nombre peut être différent du nombre d'heures que vous avez passé au lit)

→ Nombre d'heures de sommeil par nuit :

Pour chacune des questions suivantes, indiquez la meilleure réponse. Répondez à toutes les questions.

5/ Au cours du mois dernier, avec quelle fréquence avez-vous eu des troubles du sommeil car ...

	Pas au cours du dernier mois	Moins d'1 fois par semaine	1 ou 2 fois par semaine	3 ou 4 fois par semaine
a) vous n'avez pas pu vous endormir en moins de 30 mn				

SAISONNALITE

Questionnaire de saisonnalité

Le propos de ce questionnaire est de découvrir comment votre humeur et votre comportement changent d'une saison à l'autre.

Nous sommes intéressés par votre expérience, et non par ce que vous avez pu observer chez les autres.

1. Quelle est l'intensité des changements avec les saisons :

	Pas de changement	Changement faible	Changement modéré	Changement marqué	Changement extrêmement marqué
Durée de sommeil	0	1	2	3	4
Activité sociale	0	1	2	3	4
Humeur (bien-être)	0	1	2	3	4
Poids	0	1	2	3	4
Appétit	0	1	2	3	4
Niveau d'énergie	0	1	2	3	4

SSG = Score de Saisonnalité Global = somme du score de ces six items.

2. Si votre comportement change avec les saisons, le ressentez-vous comme un problème ?

☐ Non

☐ Oui, c'est un problème pour moi :

- faible 1
- modéré 2
- marqué 3
- très marqué 4
- handicapant 5

La lumière n'est pas uniquement indispensable à la vision, mais joue aussi un rôle dans un ensemble de fonctions dites "non-visuelles" comme la synchronisation de notre horloge biologique avec l'alternance jour-nuit (Czeisler & Gooley, 2007). La lumière est le synchronisateur principal des rythmes circadiens, mais est aussi un signal qui favorise l'éveil, diminue la somnolence et module les performances cognitives (Cajochen, 2007). Un système de photoréception qui recrute les cônes et bâtonnets, mais aussi des cellules ganglionnaires rétiniennes intrinsèquement photosensibles (CGRip) qui expriment le photopigment mélanopsine est responsable de cet effet. Elle supprime la sécrétion de la mélatonine, une hormone acceptée comme marquée fiable du système circadien chez l'homme (Deacon & Arendt, 1994). Des études en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle ont montré une influence importante de la lumière sur les corrélats cérébraux sous-tendant un effort cognitif chez l'homme (Vandewalle, Maquet, & Dijk, 2009). Les effets comportementaux ont été démontrés de façon relativement robuste pour des tâches de vitesse de traitement. Cependant, la littérature est plus mixte en ce qui concerne l'effet de la lumière sur des tâches impliquant un contrôle cognitif plus important. L'objectif de cette étude consistera à investiguer l'effet de la lumière enrichie en bleu sur les performances à des tâches permettant de mieux dissocier entre les processus cognitifs automatiques et contrôlés. Seize volontaires jeunes se soumettront à 2 conditions expérimentales. Pour les deux sessions, les sujets arriveront au laboratoire 7h avant l'heure de coucher habituelle. Ils seront exposés à une lumière blanche d'intensité moyenne (1000lux) pendant 5 minutes dès leur arrivée pour standardiser leur historique lumineux. Les sujets seront maintenus dans la pénombre (< 5 lux) pendant 5h avant d'être exposés pendant 2h à de la lumière enrichie en bleu lors d'une visite ou à une lumière rouge qui servirait de condition placebo lors de l'autre visite (Luminette – Lucimed – Villers le Bouillet). L'intensité de la lumière sera de 1500 lux dans la condition active (lumière bleue) et de 150 lux dans la condition contrôle (lumière rouge). Ils seront ensuite maintenus dans la pénombre (< 5 lux) pendant encore 1 heure et demie avant soit de rentrer à leur domicile (pas par leur propre moyen, via un parent ou un ami) ou de dormir au GIGA-CRC-In Vivo Imaging jusqu'au lendemain (horaire libre). Des échantillons de salive, un test de vigilance ainsi que des échelles de somnolence seront administrés à des intervalles réguliers. Finalement, pendant l'exposition lumineuse, une tâche de reconnaissance de mots et une tâche attentionnelle seront administrées. L'hypothèse sous-jacente est que la lumière bleue induit une suppression de la mélatonine salivaire, une diminution des temps de réaction ainsi que la favorisation de la mise en place de processus cognitifs automatiques, indépendamment du domaine cognitif investigué. Généralement, ce travail contribuera à une meilleure caractérisation du potentiel stimulateur de la lumière sur les performances cognitives.