

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

FACULTÉ DE MÉDECINE, MAÏEUTIQUE ET SCIENCES DE LA SANTÉ

ANNÉE : 2023

N° : 225

THÈSE

PRÉSENTÉE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT

DE DOCTEUR EN MÉDECINE

Diplôme d'État

Mention Médecine et Santé au Travail

PAR

MEDDE Alessandro

Né le 23/10/1993 à Cagliari (Italie)

Effets directs de la lumière bleue sur la vigilance, la somnolence et les performances cognitives en fonction des processus homéostasique et circadien :

Etude expérimentale menée chez 64 sujets avec application clinique en santé au travail

Présidente de thèse : Professeur Maria Gonzalez

Directeurs de thèse : Professeur Patrice Bourgin

Docteur Marc-André Goltzene



FACULTÉ DE MÉDECINE, MAÏEUTIQUE ET SCIENCES DE LA SANTÉ

Edition SEPTEMBRE 2023
Année universitaire 2023-2024

- **Président de l'Université**
- **Doyen de la Faculté**
- **Présidente Vice-Doyenne de la Faculté**
- **Doyens honoraires :**
 - (2003-2008)
 - (2009-2004)
 - (2004-2001)
 - (2001-2011)
- **Chargé de missions auprès du Doyen**
- **Responsable administratif**

M. DENONF Michel
M. SIMON Jean
Mme CHARLOT Anne
M. MARTZ Jean-Marie
M. VINCENON Guy
M. GILLIBERT Pierre
M. LODEZ Bernard
M. VIERTE Gilbert
M. STEUHMANN Geoffroy



HÔPITAUX UNIVERSITAIRES
DE STRASBOURG (HUS)
Directeur général : ...

A1 - PROFESSEUR TITULAIRE DU COLLEGE DE FRANCE

MADEL Max Louis Chair "Généralisme" (à compter du 01.11.2023)

A2 - MEMBRE SENIOR A L'INSTITUT UNIVERSITAIRE DE FRANCE (I.U.F.)

SPINALE Zoumana Immunologie biologique
OULOUS Ibrahim Génétique clinique

A3 - PROFESSEUR(E)S DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS (PU-PH)

NOM et Prénoms	CS ¹	Services hospitaliers au sein du / localisation	Sous-section du Conseil National des Universités
ADAM Philippe	MDP CE	• Pôle de l'Appel d'urgence • Service d'Intensivisation des Urgences de Traumatologie / UP	20.01 Chirurgie orthopédique et traumatologique
ACED Pierre	MDP CS	• Pôle des Pathologies digestives, hépatiques et de la transplantation • Serv. de chirurgie générale, hépatique et endocrinienne et Transplantation/UP	11.01 Chirurgie générale
ALBERTO Claire	MDP CE	• Pôle de Gynécologie-Obstétrique • Service de Gynécologie-Obstétrique / UP	14.01 Gynécologie Obstétrique ; gynécologie médicale Option : Gynécologie Obstétrique
ARON Emmanuel	MP CS	• Pôle de Médecine interne, Pneumologie, Néphrologie, Endocrinologie, Rhumatologie (MBOC) • Service de Médecine interne, Diabète et Maladies métaboliques	11.01 Option ; médecine interne
ARON Mathieu	MDP NCS	• Pôle Tête et Cou-OTO • Service de Neurologie / Hôpital de Necker	09.01 Neurologie
Mme ANNE Marie Odile	MDP CS	• Pôle de Biologie • Service de Pathologie / Hôpital de Necker • Institut d'Histologie / Faculté de Médecine	02.01 Histologie, Embryologie et Cytogénétique (option Biologie)
Mme ANTOINE Delphine	MDP	• Pôle d'Imagerie • Service de Radiothérapie / ICRP	47.01 Oncologie ; Radiothérapie
ARAUO Lucien	MDP NCS	• Pôle ORL • Service de Rhinologie / Hôpital de Necker	10.01 Rhinologie
BACHILLER Philippe	MP CS	• Pôle des Pathologies digestives, hépatiques et de la transplantation • Serv. de chirurgie générale, hépatique et endocrinienne et Transplantation/UP	11.01 Chirurgie générale
BAMAM Samah	MDP CS	• Pôle de Biologie • Laboratoire d'Immunologie Biologique / Hôpital Hôtel Dieu • Institut d'Immunologie et d'Embranchement / Hôpital Civil / Faculté	01.01 Immunologie (option Biologie)
BAMBERT Thomas	MDP CS	• Pôle hépato-digestif de l'Hôpital Civil • Institut de Recherche sur les Maladies hépatiques et hépatiques (IAR)	12.01 Gastro-entérologie / hépatologie Option : hépatologie
Mme BENO FALLO Michèle	MDP NCS	• Pôle de Biologie • Laboratoire de Biochimie et de Biologie moléculaire / UP	04.01 Biologie cellulaire (option Biologie)
BEAUME Hervé	MDP CS	• Pôle d'Imagerie - CRT / Activités transversales • Unité de Neuro-radiologie Interventionnelle / Hôpital de Necker	43.01 Radiologie et Imagerie médicale (option clinique)
BENYA Fatima	MDP CS	• Pôle de Psychiatrie, Santé mentale et Addictologie • Service de Psychiatrie / Hôpital Civil	40.01 Psychiatrie d'adultes ; Addictologie Option : Psychiatrie d'Adultes
BERTSCH Tobias	MP CS	• Pôle de Psychiatrie et de Santé mentale • Service de Psychiatrie 4 / Hôpital Civil	40.01 Psychiatrie d'adultes
BERRY Guillaume	MDP NCS	• Pôle d'Imagerie • Service d'Imagerie 3 - Neuro-radiologie-Imagerie radio-articulaire-Pédiatre/UP	43.01 Radiologie et Imagerie médicale (option clinique)
BEMULT Pascal	MP CS	• Pôle de Urgences, Traumatismes médicaux / CAP • Service des Urgences médico-chirurgicales Adultes / UP	08.01 Réanimation ; Médecine d'urgence Option : médecine d'urgence
BLANC Frédéric	MDP NCS	• Pôle de Pédiatrie • Service Pédiatrie - Diabète - Hôpital de Necker	13.01 Médecine interne ; pédiatrie Option : pédiatrie et Soins de Spécialité
BOER Rodolphe	MDP NCS	• Pôle de Chirurgie Maxillo-faciale, morphologie et Dermatochirurgie • Service de Chirurgie Maxillo-faciale et maxillo-faciale / Hôpital Civil	10.04 Chirurgie Plastique, Reconstructrice et Esthétique ; Otorhinologie
BONIFANT Sarah	MDP NCS	• Pôle médecine chirurgicale de Pédiatrie • Service de Pédiatrie 2 - Hôpital de Necker	14.01 Pédiatrie
BONNET Nicolas	MDP CE	• Pôle de l'Appel d'urgence • Service d'Orthopédie-Traumatologie du Member Inférieur / UP	20.01 Chirurgie orthopédique et traumatologique
BOUCHER Franck	MDP NCS	• Pôle de Spécialités médicales Ophtalmologie / UP • Service d'Ophtalmologie / Hôpital Hôpital Civil	19.01 Ophtalmologie

NOM et Prénoms	CS*	Services Hospitaliers ou Institut / Localisation	Sous-section du Conseil National des Universités
BOLLEIN Pauline	BRFG CE	+ Pôle Tête et Cou - CETO - Service de Neurologie - Unité du sommeil / Hôpital Civil	40.01 Neurologie
Mme BRIGAND Corine	BRFG NCS	+ Pôle des Pathologies digestives, hépatiques et de la transplantation - Service de Chirurgie générale et digestive / HP	53.01 Chirurgie générale
BRIJANI HEDJER Catherine	BRFG CE	+ Pôle de l'appareil locomoteur - Service de Chirurgie Orthopédique et Main-Docte / HP	50.04 Ophtal. / Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique
Mme CACIARD-GILMANN Sophie	BRFG NCS	+ Pôle de spécialités médicales-Cytogénétique / MMS - Service de Médecine Génétique et Transplantation / HHC	52.01 Néphrologie
CASTELAN Vincent	BRFG NCS	+ Pôle Ophtalmo - Spécialités médicales / Centre ophtalmo - Service de Spécialités Médicales / Hôpital de Hautepierre	40.01 Ophtalmologie
Mme COEULA NERIE	BRFG NCS	+ Pôle Tête-Cou - Service de Neurochirurgie / HP	40.01 Neurochirurgie
CHRISTE Nabil	BRFG CE	+ Pôle d'activités médicales chirurgicales Cardio-vasculaires - Serv. de Chirurgie vasculaire et de transplantation rénale / HHC	51.04 Chirurgie vasculaire , médecine vasculaire Ophtal. / chirurgie vasculaire
CHARLES Jean-Philippe	BRFG NCS	+ Pôle de l'appareil locomoteur - Service de Chirurgie du rachis / Chirurgie B/HC	50.01 Chirurgie orthopédique et traumatologique
Mme CHAMBERT Aline	BRFG NCS	+ Pôle de Pathologie Génétique - Service de Physiologie et d'Expérimentation Fonctionnelles / HHC	44.01 Physiologie (système biologique)
Mme CHABROT Anne	BRFG NCS	+ Pôle Tête et Cou - CETO - Serv. d'Otite rhino-laryngologie et de Chirurgie cervico-faciale / HP	50.01 Oto-rhino-laryngologie
Mme CHENARD-NEU Marie-Françoise	BRFG CS	+ Pôle de Biologie - Service de Pathologie / Hôpital de Hautepierre	42.01 Anatomie et cytologie pathologiques (système biologique)
CLERHET Philippe	BRFG CE	+ Pôle de l'appareil locomoteur - Service d'Orthopédie Traumatologie du membre supérieur / HP	43.01 Anatomie (système ostéo-articulaire, orthopédie traumatologique)
COLANGE Olivier	BRFG NCS	+ Pôle d'Anesthésie / Réanimation chirurgicales / TAMU/GRUB - Service d'Anesthésie-Réanimation Chirurgicale / HHC	40.01 Anesthésiologie-Réanimation ; Serv. d'anesthésie (syst. Anesthésiologie-Réanimation - Type chirurgie)
COLLETTET Nicolas	BRFG NCS	+ Pôle Tête et Cou - CETO - Centre d'Investigation Clinique / HHC et HP	40.01 Neurologie
CRIBET Bernard	BRFG CS	+ Pôle d'Urologie, Néphrologie et Dialyse - Service de Néphrologie / Institut DvS	51.01 Diagnostics Médicaux
de BLAY DE SAU FERRÉOL	BRFG CE	+ Pôle de Pathologie Génétique - Service de Pédiatrie / Hôpital Civil	52.01 Pédiatrie
de TOUTAIN Emile	BRFG CS	+ Pôle Tête et Cou - CETO - Centre d'Investigation Clinique (CIC) - HCS / Hôpital de Hautepierre	40.01 Neurologie
DEBY Christian	BRFG CE	+ Pôle Tête et Cou - CETO - Serv. d'Otite rhino-laryngologie et de Chirurgie cervico-faciale / HP	50.01 Oto-rhino-laryngologie
DERUELLE Philippe	BRFG NCS	+ Pôle de Gynécologie-Obstétrique - Service de Gynécologie-Obstétrique / Hôpital de Hautepierre	54.01 Gynécologie-Obstétrique (système biologique-médical; système gynécologie-obstétrique)
Mme DIEZEL-WILMANN Hélène	BRFG CS	+ Pôle de Biologie - Service de Biologie Médicale / Hôpital de Hautepierre	42.04 Biologie (Type chimie)
DUMENEZ Raphaël	BRFG NCS	+ Pôle de l'appareil locomoteur - Service d'Orthopédie Traumatologie du membre inférieur / HP	50.01 Chirurgie orthopédique et traumatologique
Mme ENZO-VERGÉ Nathalie	BRFG NCS	+ Pôle médecine-chirurgie de Pédiatrie - Service de Pédiatrie II / Hôpital de Hautepierre	54.01 Pédiatrie
Mme FARZA Lydie	BRFG CE	+ Pôle de l'appareil locomoteur - Service de Chirurgie de la Main - DvS Main / Hôpital de Hautepierre	50.01 Chirurgie orthopédique et traumatologique
Mme FLO HEDJER Samia	BRFG CS	+ Pôle de Biologie - Laboratoire (Institut) de Virologie / TAMU/GRUB et Faculté	40.01 Bactériologie-Virologie; système respiratoire Ophtal. / bactériologie-Virologie biologique
FASOT Françoise	BRFG NCS	+ Pôle de Pathologie Digestives, Hépatiques et de la Transplantation - Serv. de chirurgie générale, hépatique et transplantations et transplantation / HP	53.01 Chirurgie générale
FALCET Pierre Emmanuel	BRFG NCS	+ Pôle de Pathologie Génétique - Service de Chirurgie Génétique / Hôpital Civil	53.01 Chirurgie Génétique et Cardio-vasculaire
FORRECHER Luc Mathieu	BRFG NCS	+ Pôle d'Uro-Neurologie - Service d'Urologie / HCS	42.01 Néurologie ; Transfusions Ophtal. / Néurologie
FOUCHER Jean	BRFG NCS	+ Pôle de Psychiatrie et de Santé Mentale - Service de Psychiatrie II / Hôpital Civil	40.01 Psychiatrie d'adultes
GAMIE David	NCS	+ BRU - Institut Hospitalo-Universitaire - Hôpital Civil	42.01 Radiologie et Imagerie médicale
GARDI Evelyn	BRFG CE	+ Pôle d'Imagerie - Service d'Imagerie à Interventionnelle / Hôpital Hôpital Civil	42.01 Radiologie et Imagerie médicale (système clinique)
GARRON Julien	BRFG NCS	+ Pôle d'Imagerie - Service d'Imagerie à Interventionnelle / Hôpital Hôpital Civil	42.01 Radiologie et Imagerie médicale (système clinique)
GAUCHER David	BRFG NCS	+ Pôle des spécialités médicales - cytogénétique / MMS - Service d'Ophtalmologie / Hôpital Hôpital Civil	52.01 Ophtalmologie
GERM Bernard	BRFG CE	+ Pôle de Pathologie Génétique - Service de Physiologie et d'Expérimentation Fonctionnelles / HHC	44.01 Physiologie (système biologique)
GERIN Yverck	BRFG NCS	+ Pôle d'activités médicales chirurgicales Cardio-vasculaires - Serv. de Chirurgie vasculaire et de transplantation rénale / HHC	51.04 Chirurgie vasculaire , médecine vasculaire Ophtal. / chirurgie vasculaire
GICQUEL Philippe	BRFG CE	+ Pôle médico-chirurgical de Pédiatrie - Service de Chirurgie Pédiatrique / Hôpital de Hautepierre	54.01 Chirurgie Pédiatrie
GODDIT Bernard	BRFG CS	+ Pôle de Médecine Interne, Rhumatologie, Néphrologie, Endocrinologie, Biologie (MMS/BRU) - Service de Médecine Interne et de Nutrition / HP	51.04 Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
Mme GONZALEZ Marie	BRFG CS	+ Pôle de Santé Publique et Santé au Travail - Service de Pathologie Professionnelle et Médecine du Travail/HC	40.01 Médecine et Santé au Travail

NOM et Prénoms	CE ²	Services hospitaliers ou institut / localisation	Sous-section du Conseil National des Universités
GOTTSCHEW Jacques-François	HPH CS	- Pôle de Maladies Internes, Rhumatologie, Néphrologie, Endocrinologie, Diabétologie (MIRNED) - Service de Rhumatologie / Hôpital Hautepierre	51.01 Rhumatologie
HACHEM Véro	HPH HCC	- Pôle de spécialités médicales - Ophtalmologie / IAD - Service des Maladies Infectieuses et Tropicales / HCC	43.03 Ophtal - Maladies Infectieuses
Mme UELAND Jilke	HPH HCS	- Pôle Urgences - Radiodiagnostic Médical / Centre antitumoral - Service de Radiodiagnostic Médical / Niveau Hôpital IAD	48.02 Médecine Interne - Radiologie
HOFICH Edmund	HPH HCC	- Pôle Tête et Cou - CETO - Service de Neurologie / Hôpital de Hautepierre	43.01 Neurologie
MARSALE Klara	HPH HCC	- Pôle d'Imagerie - Service de Médecine Diagnostic et Imagerie Médicale / IAD	43.01 Radiophysique et médecine nucléaire
CHERICHONNET Marie-Eve	HPH CS	- Pôle de Maladies Physiques et de Réhabilitation - Institut Interdisciplinaire de Réadaptation / Clémenceau	43.01 Médecine Physique et Réadaptation
JAUHAR Benoît	HPH CS	- Pôle de Biologie - Institut (Laboratoire) de Biologie / IAD IAD et Faculté	43.01 Ophtal - Bactériologie - Biologie (Biologie)
Mme LAMBERT Nathalie	HPH CS	- Pôle de Maladies Internes, Rhumatologie, Néphrologie, Endocrinologie, Diabétologie (MIRNED) - Service d'Endocrinologie, Diabète et Nutrition IAD	50.04 Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
Mme JEKI-WOEL Laurence	HPH HCC	- Pôle d'actuels médicaux - Inter-géné Cardio-vasculaire - Service de Cardiologie / Niveau Hôpital IAD	53.02 Cardiologie
KALININICH Georges	HPH CS	- Pôle de Génétique - Service de Médecine Génétique - Génétique / Hôpital de la Motte Saint-Jacques - Secteur Evaluation - Génétique / Hôpital de la Motte Saint-Jacques	53.01 Ophtal - génétique et biologie du développement
Mme KESSLER Laurence	HPH HCC	- Pôle de Maladies Internes, Rhumatologie, Néphrologie, Endocrinologie, Diabétologie (MIRNED) - Service d'Endocrinologie, Diabète, Nutrition et radiologie méd. G.E.H.C.	50.04 Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
KOZLOVA Romén	HPH HCC	- Pôle de Pathologie Hépatique - Service de Pneumologie / Niveau Hôpital IAD	53.01 Pneumologie
BOUD Michel	HPH HCS	- Pôle d'actuels médicaux - Inter-géné Cardio-vasculaire - Service de Chirurgie Cardio-vasculaire / Niveau Hôpital IAD	53.01 Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
Mme KORDANIM Nour-Zahra	HPH CS	- Pôle de spécialités médicales - Ophtalmologie / IAD - Service de Maladies Internes et d'Endocrinologie Clinique / HCC	43.03 Ophtalmologie (ophtal clinique)
KOTHEZ Stéphane	HPH CS	- Pôle d'Imagerie II - Neurologie Diagnostic Médical - Médicale / HP - Service Imagerie II - Neurologie Diagnostic Médical - Médicale / HP	43.01 Radiologie et imagerie médicale (ophtal - Clinique)
KUHN Pierre	HPH CS	- Pôle médical - chirurgie de Pédiatrie - Service de Pédiatrie et de Nutrition Pédiatrie (Néonatal) / HP	54.01 Pédiatrie
KURTZ Jean-François	HPH HCS	- Pôle d'Urologie - Hépatologie - Service de Néphrologie / IAD	43.01 Ophtal - Cancérologie (clinique)
Mme LALANNE Laurence	HPH CS	- Pôle de Psychiatrie, Santé mentale et Addictologie - Service de Addictologie / Hôpital IAD	49.01 Psychiatrie d'adultes - Addictologie (Ophtal - Addictologie)
LANGE Michel	HPH HCS	- Pôle de Chirurgie plastique reconstructrice et esthétique, Chirurgie maxillo-faciale, Otorhinolaryngologie et Dermatologie - Service de Chirurgie Oncologique / Niveau Hôpital IAD	53.03 Urologie
LANGE Vincent	HPH CS	- Pôle médecine chirurgicale de Pédiatrie - Service de Pédiatrie I / Hôpital de Hautepierre	54.01 Pédiatrie
Mme LEJAY Anne	HPH HCC	- Pôle d'actuels médicaux - Inter-géné Cardio-vasculaire - Service de Chirurgie vasculaire et de Transplantation rénale / HCC	53.04 Ophtal - Chirurgie vasculaire
LEMERCIER Jean-Marie	HPH HCC	- Pôle d'Imagerie - Institut d'Anatomie Humaine / Faculté de Médecine - Service de Neuro-radiologie, d'Imagerie Médicale et Interventionnelle/HP	43.01 Anatomie
LEISSNER Jean-Marc	HPH CS	- Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie générale et spécialisée / IAD IAD / HCC - Laboratoire de Biochimie et de Biologie moléculaire / Hautepierre	61.01 Sciences Biologiques de Pharmacie
LEVESQUE Dan	HPH HCC	- Pôle de Chirurgie plastique reconstructrice et esthétique, Chirurgie maxillo-faciale, Otorhinolaryngologie et Dermatologie - Service de Dermatologie / Hôpital IAD	53.03 Dermato-dermatologie
LEVERGNEZ Philippe	HPH HCS	- Pôle de Appareil locomoteur - Service de Chirurgie de la Main - M23 Main / Hôpital de Hautepierre	53.03 Chirurgie orthopédique et traumatologique
MALOC Sabine	HPH HCC	- Pôle d'Urologie - Hépatologie - Service d'Urologie médicale / IAD	43.01 Cancérologie, Radiothérapie Ophtal - Cancérologie
MARTIN Thierry	HPH HCS	- Pôle de spécialités médicales - Ophtalmologie / IAD - Service de Maladies Internes et d'Endocrinologie Clinique / HCC	43.03 Ophtalmologie (ophtal clinique)
Mme MASCOURÉ Céline	HPH HCC	- Pôle de Pathologie Hépatique - Service de Pneumologie / Niveau Hôpital IAD	53.01 Pneumologie, Addictologie
Mme MATHIEU Carole	HPH CS	- Pôle de Gynécologie - Obstétrique - Unité de Biologie / IAD	54.03 Gynécologie - Obstétrique - gynécologie Médicale
MAYEURIE Jean-Clément	HPH CS	- Pôle d'Urologie - Hépatologie - Laboratoire d'Endocrinologie Biologique - Hôpital de Hautepierre - Institut d'Endocrinologie / Faculté de Médecine	43.01 Endocrinologie - Nutrition Ophtal - Endocrinologie Biologique

NOM et Prénoms	CE ¹	Services Hospitaliers ou Institut / Localisation	Sous-section du Conseil National des Universités
HAZZUZZELLI Jean-Pierre	BRF6 CS	• Pôle d'activités médico-chirurgicales Cardéo-vasculaires - Services de Chirurgie Cardéo-vasculaire / Hôpital Civil	31.03 - Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
MENAGE Stéphanie	BRF6 BC3	• Pôle de Biologie - Laboratoire de Parasitologie et de Mycologie médicale (PIM MHS)	45.02 - Parasitologie et mycologie (option histologique)
HEZELFELD Michel	BRF6 CS	• Pôle d'Anesthésiologie / Réanimations (Anesthésiques) / SAMU-DUJIS - Services d'Anesthésiologie-Réanimations chirurgicales / HEC	48.31 - Option : Anesthésiologie-Réanimation (option médecine)
MESSE Alain	BRF6 BC3	• Institut de Physiologie / Faculté de Médecine • Pôle de Pathologie Thoracique - Services de Physiologie et d'Explorations Fonctionnelles / HEC	44.02 - Physiologie (option physiologie)
MIZZI Nicolas	BRF6 BC3	• Pôle de Santé publique et Santé au travail - Laboratoire de Biostatistiques / Hôpital Civil • Biostatistiques et Informatique / Faculté de Médecine / Hôpital Civil	46.04 - Biostatistiques, Informatique Médicale et Technologies de Communication (option histologique)
MIZIANI Farhat	BRF6 CS	• Pôle Urgences - Réanimations-médecines / Centre antipneumonie - Services de Médecine Intensive / Hôpital Civil	48.33 - Réanimation
MIRAZZI Laurent	BRF6 CS	• Pôle de Pharmacie-pharmacologie - Labo. de Neurobiologie et Pharmacologie cardio-vasculaire / EA7293 Fac	48.35 - Option : Pharmacologie Fondamentale
MIRRE Ghazi	BRF6 BC3	• Pôle d'activités médico-chirurgicales Cardéo-vasculaires - Services de Cardiologie / Hôpital Civil	31.03 - Cardiologie
MITTEL Didier	BRF6 BC3	• Pôle Hépatogastro-entérologie de l'Hôpital Civil - Services de Chirurgie Hépatobiliaire et Digestive / HEC	32.02 - Chirurgie digestive
MANCE Stéphanie	BRF6 CS	• Pôle d'Imagerie - Services de Médecine Nucléaire et Imagerie Moléculaire (CEMS)	42.01 - Biophysique et médecine nucléaire
MOE Georges	BRF6 BC3	• Pôle d'Imagerie - Services de Radiothérapie / CEMS	47.01 - Cancérologie ; Radiothérapie (option Radiothérapie biologique)
MOLL Erik	BRF6 BC3	• Pôle d'Anesthésie Réanimation Chirurgicale SAMU-DUJIS - Services Anesthésiologie et de Réanimation Chirurgicale - AP	48.31 - Anesthésiologie-Réanimation
OPPEN Michael	BRF6 BC3	• Pôle d'Imagerie - Services d'Imagerie B - Imagerie générale et cardio-vasculaire / HEC	43.01 - Radiologie et imagerie médicale (option clinique)
OLMARR Nicolas	BRF6 CS	• Pôle d'activités médico-chirurgicales Cardéo-vasculaires - Services de Cardiologie / Hôpital Civil	31.03 - Cardiologie
Mme OLLAND Anne	BRF6 BC3	• Pôle de Pathologie Thoracique - Services de Chirurgie Thoracique / Hôpital Civil	31.03 - Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
Mme OLLAND Catherine	BRF6 CS	• Pôle médecine chirurgicale de Pédiatrie - Services de Pédiatrie II / Hôpital de Haute-pierre	54.01 - Pédiatrie
OLAZZO Thierry	BRF6 BC3	• Pôle d'Anesthésie / Réanimation chirurgicales / SAMU-DUJIS - Centre de formation et de recherche en pédiatrie des sciences de la santé / FAC198	48.31 - Réanimation ; Médecine d'urgence (option clinique) Option : Médecine d'urgence
Mme ORSICHA Simone	BRF6 BC3	• Pôle Hépatogastro-entérologie de l'Hôpital Civil - Services de Chirurgie Hépatobiliaire et Digestive / Hôpital Civil	32.02 - Chirurgie digestive
OSCARI Patrick	BRF6 CS	• Pôle des Pathologies Digestives, Hépatiques et de la transplantation - Services de Chirurgie Hépatobiliaire et Digestive / Hôpital Civil	33.03 - Chirurgie digestive
OSBY Thierry	CCP	• CANS - Département de médecine oncologique	47.02 - Cancérologie ; Radiothérapie (option : Cancérologie Clinique)
OSWY Xavier	BRF6 BC3	• CANS - Département de médecine oncologique	47.03 - Cancérologie ; Radiothérapie (option : Cancérologie Clinique)
POTTECHER Allan	BRF6 CS	• Pôle d'Anesthésie / Réanimations chirurgicales / SAMU-DUJIS - Services d'Anesthésie et de Réanimation Chirurgicale / Haute-pierre	48.31 - Anesthésiologie-réanimation ; Médecine d'urgence (option clinique)
POADJOW Malek	BRF6 BC3	• Pôle de Médecine Générale, Médecine, Nutrition, Gynécologie, Pédiatrie (MGENE) - Service de Médecine Générale et Nutrition / Hôpital de Haute-pierre	44.24 - Nutrition
POUST François	BRF6 CS	• Pôle Gériatrie - Services de Neurochirurgie / Hôpital de Haute-pierre	46.02 - Neurochirurgie
Pr RACE Jean-Claude	BRF6 CS	• Pôle de Biologie - Services de Médecine Légale, Consultation d'Urgences médico-judiciaires et Laboratoire de Toxicologie / Faculté de Santé • Institut de Médecine Légale / Faculté de Médecine	46.03 - Médecine Légale et droit de la santé
REBOND Jean-Marie	BRF6 BC3	• Pôle des Pathologies Digestives, Hépatiques et de la transplantation - Services d'Hépatogastro-entérologie et d'Alimentation Nutrition / HP	33.01 - Option : Gastro-entérologie
Pr REDI Nicolas	BRF6 BC3	• Pôle de Biologie - Département Biologie Moléculaire (et cellules souches) / CEMC	44.23 - Biochimie et biologie moléculaire
ROUR Serge	BRF6 CS	• Pôle des Pathologies Digestives, Hépatiques et de la transplantation - Services de Chirurgie générale et Digestive / HP	33.03 - Chirurgie générale
ROUSSY Jean-Fr.	BRF6 BC3	• Pôle des Pathologies digestives, hépatiques et de la transplantation - Services de Chirurgie générale et Digestive / HP	33.03 - Chirurgie générale
Mme ROUSSELS-BERNARD Sylvie	BRF6 BC3	• Pôle médecine chirurgicale de Pédiatrie - Services de Pédiatrie I / Hôpital de Haute-pierre	54.01 - Pédiatrie
Mme ROY Catherine	BRF6 CS	• Pôle d'Imagerie - Services d'Imagerie B - Imagerie générale et cardio-vasculaire / HEC	43.02 - Radiologie et imagerie médicale (opt. clinique)
SAMMES Nicolas	BRF6 BC3	• Pôle de gynécologie-obstétrique - Services de Gynécologie-Obstétrique / HP	54.34 - Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale (option : gynécologie-obstétrique)

NOM et Prénoms	CE*	Services Hospitaliers ou Institut / Localisation	Sous-section du Conseil National des Universités
SALES Arnaud	NR04 NCS	- Pôle de spécialités médicales - Ophtalmologie / IMD - Service d'Ophtalmologie / Nouvel Hôpital Civil	53.02 - Ophtalmologie
SALEZON Eric André	NR04 NCS	- Pôle de Santé Publique et Santé au Travail - Service de Santé Publique / Hôpital Civil - Biostatistiques et Informatique / Faculté de Médecine / HC	48.04 - Biostatistiques, Informatique médicale et Technologies de l'Informatique (ophtalmologie)
SAUCONNE Christian	NR6 CS	- Pôle d'Urologie, Néphrologie et Dermatologie - Service de Chirurgie Urologique / Nouvel Hôpital Civil	53.04 - Urologie
Mme SCARLEZ Claude	NR04 CS	- Pôle de spécialités médicales - Ophtalmologie / IMD - Service d'Ophtalmologie / Nouvel Hôpital Civil	53.02 - Ophtalmologie
Mme SCHULTZ-BILLARD Caroline	NR04 NCS	- Pôle de Biologie - Laboratoire de Biologie Génétique / Nouvel Hôpital Civil	49.04 - Génétique (ophtalmologie)
SCHNEIDER Francis	NR04 CS	- Pôle Ingénierie - Informations médicales / Centre universitaire - Service de Neurotactologie / Hôpital de Neuchâtel	49.02 - Neurotact
Mme SCARDONNE Camille	NR04 CS	- Pôle de Psychiatrie et de Santé Mentale - Service de Psychothérapie pour Enfants et Adolescents / HC	49.04 - Pédiopsychiatrie, Addictologie
SEURIEZ Philippe	NR04 NCS	- Pôle Tête et Cou - CEED - Service d'Otite-Moyeuille-Equilibre et de Chirurgie ORL-Neurotactologie / HC	53.03 - Otitite-otologie
SEGAFFY Laurence	NR04 CS	- Pôle des Pathologies digestives, hépatiques et de la transplantation - Service d'Urgents-Centre d'Investigation et d'Assistance au Yéso-HF	52.02 - Soins hépatologie, Hépatologie, Addictologie Option : Hépatologie
SEGAFFY Jean	NR04 NCS	- Pôle de Médecine Interne, Rhumatologie, Néphrologie, Endocrinologie, Diabétologie (NPHOED) - Service de Rhumatologie / Hôpital de Neuchâtel	53.03 - Rhumatologie
STEPHAN Dominique	NR04 CS	- Pôle d'actes médico-chirurgicaux Santé vasculaire - Service des Maladies vasculaires (CVA-Hémostase) (Urologie/HC)	53.04 - Option : Médecine vasculaire
Mme TADON Isabelle	NR04 NCS	- Pôle médico-chirurgical de pédiatrie - Service de Chirurgie Pédiatrique / Hôpital de Neuchâtel	54.02 - Chirurgie infantile
TELEIN Nicolas	NR04 NCS	- Pôle de Biologie - Service de Biologie de la Reproduction / CHU de Neuchâtel	54.02 - Biologie et médecine du développement et de la reproduction (ophtalmologie)
Mme TRANCHAMONT Christine	NR04 CS	- Pôle Tête et Cou - CEED - Service de Neurologie / Hôpital de Neuchâtel	49.02 - Neurologie
VERLUM Francis	NR04 CS	- Pôle d'Urologie - Service d'Urologie I - Imagerie urologie, OUL et urologie / HF	49.02 - Radiologie et Imagerie médicale (ophtalmologie)
VELTEN Michel	NR04 NCS	- Pôle de Santé Publique et Santé au Travail - Département de Santé Publique / Section 3 - Épidémiologie et Économie de la Santé / Hôpital Civil - Laboratoire d'Épidémiologie et de Santé Publique / HC / Faculté	48.02 - Épidémiologie, économie de la santé et prévention (ophtalmologie)
VIDALLET Marie	NR04 CS	- Pôle de Psychiatrie et de Santé Mentale - Service de Psychiatrie d'Urgence, de Soins et de Psycho-neurologie / Hôpital Civil	49.02 - Psychiatrie d'adultes
VISLIE Stéphane	NR04 NCS	- Pôle de Biologie - Laboratoire de Parasitologie et de Pathologies Tropicales (ParuT)	54.02 - Biologie et médecine du développement et de la reproduction (ophtalmologie)
VOCEL Thomas	NR04 CS	- Pôle de Génétique - Service de soins de suite et réhabilitation pédiatrique (Hôpital de la Vallée)	53.02 - Option : Génétique et biologie du vieillissement
MEDES Jean-Christophe Pierre	NR04 CS	- Pôle de spécialités médicales - Ophtalmologie / IMD - Service de Maladies ORL / Nouvel Hôpital Civil	53.02 - Option : Médecine ORL
WOLF Philippe	NR04 NCS	- Pôle des Pathologies digestives, hépatiques et de la transplantation - Service de Chirurgie Générale et de Transplantations multi-organes / HF - Département des actives de prélèvements et transplantations des MO	53.02 - Chirurgie générale
Mme WOLFF Valérie	NR04 CS	- Pôle Tête et Cou - Unité Neurovasculaire / Hôpital de Neuchâtel	49.02 - Neurologie

HC : Hôpital Civil - HF : Hôpital de Neuchâtel - HC : Nouvel Hôpital Civil - HF : Hôpital de Neuchâtel (Hôpital de Neuchâtel)

CS : Chef de service ou NCS (Nouveau chef de service hospitalier) - Csp : Chef de service par secteur - Csp : Chef de service pédiatrique (ou an)

CU : Chef d'Unité Fonctionnelle

NR : Pôle NR6 (Responsable de Pôle) ou NR04 (Nouveau Responsable de Pôle)

Dem. : Compétence hospitalière (pour les fonctions hospitalières ou chef de service)

Dr : Docteur

A4 – PROFESSEUR ASSOCIÉ DES UNIVERSITÉS

NOM et Prénoms	CE*	Services Hospitaliers ou Institut / Localisation	Sous-section du Conseil National des Universités
CAVEL Laurent	NR04 CS	- Pôle spécialités médicales - Ophtalmologie / IMD - Service de Soins palliatifs / HC	49.02 - Médecine palliative
BARBESZIN François	CS	- Pôle (urgences digestives) - Service de Gastro-Entérologie - HC	52.02 - Gastro-entérologie
VALVAY Eric	CS	- Pôle Tête-Cou - Centre d'évaluation et de traitement de la douleur / HF	49.04 - Thérapies, médecine de la douleur, Addictologie

R1 - MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS (MCU-PH)

NOM et Prénom	CS*	Services hospitaliers ou unités / Localisation	Sous-section du Conseil National des Universités
AGN André		- Pôle d'Imagerie - Service de Médecine nucléaire et Imagerie Moléculaire / CHU	43.01 - Biophysique et Médecine nucléaire
Mme AYOUB-DRECH Emile		- Pôle de Pharmacie - Unité de Pharmacologie Clinique / Faculté de Médecine	48.01 - Pharmacologie fondamentale : pharmacologie clinique ; addictologie Optim : pharmacologie fondamentale
BARRIÈRE Hélène		- Pôle de Médecine interne, Rhumatologie, Néphrologie, Endocrinologie, Gériatrie (MRECH) - Service d'Endocrinologie, Diabète et Maladies métaboliques / HC	53.01 - Optim : médecine interne
BERTHOUD Emile		- Pôle de Pharmacie - Unité de Pharmacologie Clinique / Faculté de Médecine	48.01 - Pharmacologie fondamentale : pharmacologie clinique ; addictologie
BICHARD Eric		- Pôle de spécialités médicales - Ophtalmologie / CHU - Service de Neurologie - Neurophysiologie / CHU	52.01 - Neurologie
Mme BOMCALOVA Valérie		- Pôle de Biologie - Laboratoire de Biogenèse Cellulaire / Hôpital Hôtel Dieu	47.04 - Génétique (option biogénèse)
BONDET Cyril		- Pôle d'Imagerie - Service de Médecine nucléaire et Imagerie Moléculaire / CHU	43.01 - Biophysique et médecine nucléaire (option clinique)
Mme BODARD Aurélie		- Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie et de Biologie moléculaire / HP	44.01 - Biochimie et biologie moléculaire
BOUJES Jean		- Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie et de Biologie moléculaire / HP	44.01 - Biochimie et biologie moléculaire
BONS Pierre		- Pôle de Biologie - Institut de Bactériologie / Faculté de Médecine	43.01 - Bactériologie - Virologie ; hygiène hospitalière Optim Bactériologie - Virologie biogénèse
Mme BOU Valérie		- Pôle de Biologie - Laboratoire de Parasitologie et de Mycologie médicale / PIM HUS - Institut de Parasitologie / Faculté de Médecine	43.01 - Parasitologie et mycologie (option biogénèse)
Mme BOND Caroline		- Pôle d'Imagerie - Service de médecine nucléaire et Imagerie moléculaire / CHU	43.01 - Biophysique et médecine nucléaire
CABATOT Raphaël		- Pôle de Biologie - Laboratoire d'Immunologie biologique / Hôpital Hôtel Dieu	47.01 - Immunologie
CEYRIS Corinne		- Pôle d'Imagerie - Service d'Imagerie à Interventionnelle / CHU	43.02 - Radiologie et imagerie médicale (option clinique)
CERLINE Jocelyne		- Pôle de Biologie - Département de Biologie structurale intégrative / CHU	47.01 - Ométagie , Radiobiologie (option biogénèse)
CHERRIS Thomas		- Pôle de Biologie - Laboratoire d'Immunologie biologique / Hôpital Hôtel Dieu	47.01 - Immunologie (option biogénèse)
CHOSSET Philippe		- Pôle d'Imagerie - UPF231 - Imagerie médicale / HP	43.01 - Biophysique et médecine nucléaire
CLEO (Dr) Raphaël		- Pôle Urgences - Soins Intensifs néonataux / Centre urgentiel - Service de Réanimation néonatale / Hôpital de Necker	48.02 - Soins intensifs
Mme COBONDU Geneviève		- Pôle d'actions médico-chirurgicales Cardio-vasculaires - Service des Maladies vasculaires CHU-Pharmacie clinique / CHU	53.04 - Optim : Médecine vasculaire
DAI-WUJIE Aïmeil Nazim		- Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie et Biologie moléculaire / CHU	44.01 - Biochimie et biologie moléculaire
ZAROUY François		- Pôle de spécialités médicales - Ophtalmologie / CHU - Service des Maladies infectieuses tropicales / CHU	43.01 - Optim : Maladies infectieuses
DEYS Isabelle		- Pôle de Biologie - Laboratoire de Diagnostic génétique / Hôpital Hôtel Dieu	47.04 - Génétique (option biogénèse)
Mme DEMELACREY Vera		- Pôle Tête et Cou - CETO - Service de Neurologie / Hôpital de Necker	49.01 - Neurologie
DELLÉ Pascal		- Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie et Biologie moléculaire / CHU	44.01 - Biochimie et biologie moléculaire
Mme ESCOFFÉ Eric		- Pôle de Pathologie thoracique - Service de Physiologie et d'Explorations Fonctionnelles / CHU	44.02 - Physiologie
Mme FARRUGIA-JACQUIN Audrey		- Pôle de Biologie - Service de Maladies légères, Unité d'Explorations fonctionnelles-juridiques et Laboratoire de Toxicologie / Faculté de Médecine - Institut de Médecine légale / Faculté de Médecine	46.01 - Médecine légale et droit de la santé
FELTEN Benoît		- Pôle Tête et Cou - CETO - Centre d'Investigation Clinique (CIC) - INS / Hôpital de Necker	49.04 - Thérapeutiques, médecine de la douleur, Addictologie
FLEISCH Denis	CS	- Pôle de Biologie - Unité de Parasitologie et de Mycologie médicale / PIM HUS et Faculté	43.01 - Parasitologie et mycologie (option biogénèse)
GARTNER Pierre		- Pôle de Biologie - Laboratoire (HUS) de Biologie / PIM HUS et Faculté	43.01 - Bactériologie - Virologie ; hygiène hospitalière Optim Bactériologie - Virologie biogénèse
GUERIN Marguerite		- Pôle de Pathologie thoracique - Service de Physiologie et d'Explorations Fonctionnelles / CHU	44.02 - Physiologie (option biogénèse)
DEZ Vincent		- Pôle de spécialités médicales - Ophtalmologie / CHU - Service de Médecine vasculaire et d'Immunologie Clinique / CHU	47.01 - Immunologie (option clinique)
GAILLON Antoine		- Pôle de Biologie - Institut (Laboratoire) de Bactériologie / PIM HUS et Faculté	43.01 - Optim : Bactériologie - biologie (biogénèse)

NOM et Prénoms	CS*	Services Hospitaliers ou Institut / Localisation	Dans le cadre du Conseil National des Universités
GIRARD Eric		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie et de Biologie moléculaire / HF	44.01 Biologie cellulaire (autres biologies)
GARIBOLDI Jocelyne		• Pôle de spécialités médicales - Otorhinolaryngologie / OMC - Service de Médecine interne et d'immunologie clinique / OMC	47.01 Immunologie (autres cliniques)
Mme NABIAN/BAZEL Laure		• Pôle d'usage libre - Service de Médecine Nucléaire et Imagerie Moléculaire / OMC	43.01 Biophysique et médecine nucléaire
HUMES Valérie		• Pôle d'usage libre - Service de Médecine nucléaire et Imagerie Moléculaire / OMC - Service de Biochimie et de Médecine Nucléaire / OMC	47.01 Biophysique et médecine nucléaire
KAZDIBER Philippe		• Pôle de Biologie - Département Génétique Fonctionnelle et cancer / OMC	47.04 Génétique (autres biologies)
Mme DEMMEL Véronique		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie et de Biologie moléculaire / HF	44.01 Biochimie et biologie moléculaire
BOCH Guillaume		- Institut d'Anatomie Normale / Faculté de Médecine	42.01 Anatomie (autres cliniques)
Mme KHAYAT NAJIB Agnès		• Pôle de Médecine Physique et de Réadaptation - Institut Universitaire de Réadaptation / Clermont	44.01 Médecine Physique et Réadaptation
Mme LAMON Valérie		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie et de Biologie moléculaire / HF	44.01 Biochimie et biologie moléculaire
Mme LEBRET Bénédicte		• Institut d'OncoGénétique / Faculté de Médecine • Pôle de Biologie - Service de Pathologie / Hôpital de Necker	42.01 Génétique, Embryologie et Cytogénétique (autres cliniques)
LAWAZ Thomas		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie et de Biologie moléculaire / HF	44.01 Biologie cellulaire
LECOTTE Lisa		• Pôle de Gynécologie Obstétrique - Service de Gynécologie Obstétrique / Hôpital de Necker	54.01 Gynécologie-Obstétrique ; gynécologie médicale (autres : gynécologie-obstétrique)
LENGRANGE Cedric		• Pôle de Chirurgie maxillo-faciale, Morphologie et Dermatochirurgie - Service de Dermatochirurgie / Hôpital Civil	56.01 Dermatologie
LEBRETTE Basile		• Pôle de Biologie - Service de Pathologie / Hôpital de Necker	42.01 Anatomie et cytologie pathologiques
LISE Jean Christophe		• Pôle de Chirurgie plastique reconstructrice et esthétique, Chirurgie maxillo-faciale, Morphologie et Dermatochirurgie - Service de Chirurgie Plastique et Maxillo-faciale / Hôpital Civil	55.01 Chirurgie maxillo-faciale et craniomaxillo-faciale
MOURT Laurent		• Pôle de Biologie - Laboratoire d'OncoGénétique Clinique / Hôpital de Necker et OMC	44.01 Biologie cellulaire (type libre : Biologique)
Mme MOUTOU Effie ep. QUINTERES	CS	• Pôle de Biologie - Laboratoire de Médecine préventive/épidémiologie / UNCO Schilligheim	54.01 Biologie et médecine du développement et de la reproduction (autres biologies)
MILLET Jean		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Diagnostic génétique / Hôpital Civil	47.04 Génétique (autres biologies)
Mme NICOLIC Alina		• Pôle de Biologie - Service de Pathologie / Hôpital de Necker	42.01 Anatomie et Cytologie pathologiques (autres cliniques)
Mme ROBERT Nathalie		• Pôle de Santé publique et Santé au Travail - Service de Pathologie professionnelle et de Médecine du Travail / OMC	46.01 Médecine et Santé au Travail (autres cliniques)
POFF Alexandre		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Parasitologie et de Mycologie médicale/PTM HUS	45.01 Parasitologie et mycologie
Mme RUTEN Annelie		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Diagnostic génétique / OMC	47.04 Génétique (autres biologies)
POP Pascal		• Pôle d'usage libre - Unité de Neurobiologie Interdisciplinaire / Hôpital de Necker	43.01 Radiologie et Imagerie médicale (autres cliniques)
PREVOCT Gilles		• Pôle de Biologie - Institut (Laboratoire) de Bactériologie / PTM HUS et Faculté	45.01 (autres : Bactériologie-génétique (autres biologies))
Mme RAZOUVLEVICH Miljana		• Pôle de Biologie - Laboratoire d'immunologie Moléculaire / Hôpital Civil	47.01 Immunologie (autres biologies)
Mme REX Nathalie		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie et de Biologie moléculaire / OMC - Service de Chirurgie / OMC	47.01 Biophysique et médecine nucléaire
Mme ROD Marjorie		• Pôle de Pathologie Anatomique - Service de Physiologie et explorations Fonctionnelles / OMC	44.01 Physiologie (autres cliniques)
Mme ROSLAND Delphine		• Pôle de Biologie - Laboratoire d'Immunologie Clinique / Hôpital de Necker	47.01 Immunologie ; transfusion (type libre : Immunologie)
Mme ROLLIN Julie		• Pôle de Psychiatrie et de Santé mentale - Service Psychiatrique pour Enfants et Adolescents / OMC	44.04 Pédiopsychiatrie / Adultologie
Mme RUMONT Elizabeth		• Pôle Tête et Cou - Service de Neurologie - Unité de Pathologie du Sommeil / OMC	46.01 Neurologie
Mme TARDY Alise		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Parasitologie et de Mycologie médicale/PTM HUS - Institut de Parasitologie / Faculté de Médecine	45.01 Parasitologie et mycologie (autres biologies)
SANARD Anthony		• Pôle des pathologies digestives, hépatiques et de la transplantation - Service d'Organe-Cancer hépatologie / HF	54.01 Gastro-entérologie ; hépatologie ; hépatologie
Mme SCHNEIDER Sophie		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Diagnostic génétique / Hôpital Civil	47.04 Génétique

ICM et Prénoms	Cl. ¹	Services Hospitaliers ou Institut / Localisation	Sous-section du Conseil National des Universités
SCUDAMPE Frédéric		• Pôle de Biologie - Institut (Laboratoire) de Bactériologie / TIM HUS et Faculté	43.01 - Option : Bactériologie (médecine (biologique))
Mme SILEY Morgane		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Biologie / Hôpital de Hautepierre	43.01 - Microbiologie-Virologie , Médecine Hospitalière Option : Bactériologie-Virologie
Mme ESBET Christelle		• Pôle de Médecine Interne, Rhumatologie, Nutrition, Endocrinologie, Généraliste (MORIS) - Service de Rhumatologie / Hôpital de Hautepierre	30.03 - Rhumatologie
Mme SALICRARD-BERGER Emeline		• Pôle de Biologie - Institut (Laboratoire) de Bactériologie / PITHOUS et Faculté	43.01 - Option : Bactériologie (médecine (biologique)) (biologique)
VALLAT Laurent		• Pôle de Biologie - Laboratoire d'Immunologie Biologique - Hôpital de Hautepierre	43.03 - Immunologie Transfusion Option Hématologie Biologique
Mme BELAY-BUICH Aurélie		• Pôle de Biologie - Laboratoire de virologie / Hôpital Civil	43.01 - Bactériologie-Virologie ; Médecine Hospitalière Option Bactériologie-Virologie (biologique)
Mme WILLARD Odile		• Pôle de Biologie - Labor. de Parasitologie et de Mycologie médicale / HUS HUS et Fac	43.02 - Parasitologie et mycologie (option biologique)
Mme FALUSOT Anne Ep. BROCCANTO		• Pôle Médecine Chirurgicale de Pédiatrie - Service de Pédiatrie / Hôpital de Hautepierre	54.01 - Pédiatrie
JOLL-Luffray		• Pôle de Pathologie (oncologie) - Service de Physiologie et d'Explorations Fonctionnelles / HC	43.02 - Physiologie (option clinique)

B2 - PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS (monopartenant)

Pr BONAFI Christian PC106	Laboratoire d'Épidémiologie des Sciences de la Vie et de la Santé (L2SV) Institut d'Anatomie Pathologique	72 - Épidémiologie - Histoire des sciences et des Techniques
---------------------------	--	--

B3 - MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS (monopartenant)

Mme CHABAN Denis	ICM-CM1 T117 - Équipe 005 / Faculté de Médecine	85 - Neurosciences
Dr DELANGEON Jean-Philippe	ICM-CM1 T117 - Équipe 005 / Faculté de Médecine	85 - Neurosciences
Dr ESSIL Nils	Laboratoire d'Épidémiologie des Sciences de la Vie et de la Santé (L2SV) Institut d'Anatomie Pathologique	72 - Épidémiologie - Histoire des sciences et des Techniques
Dr LANGE Genev	ICM-CM1 T117 - Équipe 005 / Faculté de Médecine	85 - Neurosciences
Mme MIRALES Cécile	Laboratoire d'Épidémiologie des Sciences de la Vie et de la Santé (L2SV) Institut d'Anatomie Pathologique	72 - Épidémiologie - Histoire des sciences et des Techniques
Mme DCAFFONE Marjorie	Laboratoire d'Épidémiologie des Sciences de la Vie et de la Santé (L2SV) Institut d'Anatomie Pathologique	72 - Épidémiologie - Histoire des sciences et des Techniques
Mme THOMAS Marjolaine	Laboratoire d'Épidémiologie des Sciences de la Vie et de la Santé (L2SV) Institut d'Anatomie Pathologique	72 - Épidémiologie - Histoire des sciences et des Techniques
Dr WADRONO Frédéric	Laboratoire d'Épidémiologie des Sciences de la Vie et de la Santé (L2SV) Institut d'Anatomie Pathologique	72 - Épidémiologie - Histoire des sciences et des Techniques
Dr DIMMER Alexis	Laboratoire d'Épidémiologie des Sciences de la Vie et de la Santé (L2SV) Institut d'Anatomie Pathologique	72 - Épidémiologie - Histoire des sciences et des Techniques

C - ENSEIGNANTS ASSOCIÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE

C1 - PROFESSEURS ASSOCIÉS DES UNIVERSITÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE (mi-temps)

Pr A. DJIBO Clémence
Pr A. SIDI-BETHOUJ Anne
Pr A. SULEIBI Philippe
Pr A. YED Philippe
Pr A. BOUREL Fabien

C2 - MAÎTRE DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE - TITULAIRE

Dr CHAMME Adrien
Dr LORENZO Mathieu

C3 - MAÎTRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS DES UNIVERSITÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE (mi-temps)

Dr BEAUCOURT Hervé
Dr GILCOMIN Antoine
Dr HOLLARD David
Dr SARTELME Anne-Glaudine
Dr SCHETT Karimka

E - PRATICIENS HOSPITALIERS - CHEFS DE SERVICE NON UNIVERSITAIRES

Dr ASTUC Dominique	<ul style="list-style-type: none"> Pôle médecine chirurgicale de Médecine Service de Médecine pédiatrique spécialisée et de surveillance continue / HPI
Dr DEBARDI Mathis	<ul style="list-style-type: none"> Pôle oncologie médicale chirurgicale et d'hématologie Service d'Oncologie Médicale / CANC
Mme Dr LECORIER Bénédicte	<ul style="list-style-type: none"> Pôle de Pharmacie-pharmasologie Service de Pharmacie - 201 Rue des / Nouvel Hôpital Civil
Dr VANCHER Fabrik	<ul style="list-style-type: none"> Pôle de Gynécologie Service de Soins de suite de Langue d'Océanie et d'hébergement gynécologique / GYNED / Hôpital Civil
Dr LETEUNE Nicolas	<ul style="list-style-type: none"> Pôle de Spécialités Médicales - Ophtalmologie - Hygiène (DSD) Service des Maladies Infectieuses et Tropicales / Nouvel Hôpital Civil
Dr MELWO Gabriel	<ul style="list-style-type: none"> Pôle de Santé Publique et Santé au Travail Service de Santé Publique - CAS / Hôpital Civil
Mme Dr PETIT Flora	<ul style="list-style-type: none"> Pôle de Spécialités Médicales - Ophtalmologie - Hygiène (DSD) USCA
Dr THIBAUD Olivier	<ul style="list-style-type: none"> Pôle de Spécologie et d'Obstétrique Service de Spécologie Obstétrique / GYNED
Dr NEY Maye	<ul style="list-style-type: none"> Pôle Spécialités Médicales - Ophtalmologie / SMO « Le trait d'union » Centre de soins de Prévention par le VIH / Nouvel Hôpital Civil
Mme Dr HIRRE DUBREUIL Cécile	<ul style="list-style-type: none"> Pôle Lactoviv Service de Chirurgie Séptique / Hôpital de Hautepierre
Mme Dr BONNEBES Catherine	<ul style="list-style-type: none"> Pôle de Spécologie et d'Obstétrique Centre Clinique Obstétrique / CASP / CAS
Dr THOMASO Daniel	<ul style="list-style-type: none"> Pôle Médecine Chirurgicale de Médecine Service des Urgences Médico-Chirurgicales pédiatriques / Hôpital de Hautepierre
Mme Dr WELLS Anne	<ul style="list-style-type: none"> Pôle Urgences - SAMUUF - médecine Interne et Réanimation SAMU

F1 - PROFESSEURS EMÉRITES

- o **de droit et à vie** (membres de l'Institut)
 - CLAMBERN Pierre (Biochimie et biologie moléculaire)
 - MANDEL Jean-Louis (Généraliste et biologie moléculaire et cellulaire)
- o **pour trois ans** (du septembre 2020 au 31 août 2022)
 - BELLUCI Jean-François (Service de Nutrition)
 - CLÉMENT Jean-Marc (Psychiatrie)
 - KOPECEWICZ Jacques (Urgences médicales-chirurgicales Adultes)
 - MULLER André (Centre d'Évaluation et de Traitement de la Douleur)
- o **pour trois ans** (du septembre 2021 au 31 août 2024)
 - GAGNON Anne (Pédiatrie néonatale, néonatalogie)
 - HEMELING Pierre (Oncologie et Radiothérapie chirurgicale)
 - HEMELING Pascal (Généraliste)
 - STOR Jean-Paul (Chirurgie du Rectum)
- o **pour trois ans** (du septembre 2022 au 31 août 2025)
 - MOUQUON Elisabeth (Pédiatrie)
- o **pour cinq ans** (du septembre 2022 au 31 août 2028)
 - CHRISTMANN Daniel (Maladies Infectieuses et Tropicales)
 - CHOCLET David (Physique biologique)
 - JANNESCUCCI Maxory (Néphrologie)
 - LEFORT Jean-François (Chirurgie orthopédique et de la main)
 - MOLLAT Bruno (Néphrologie)
 - FRÉDET Michèle (Gastroentérologie)
 - ODDIE Patrick (Biochimie et Biologie moléculaire)
 - ODDIE Gérard (Cardiologie)

F2 - PROFESSEUR des UNIVERSITÉS ASSOCIÉ (mi-temps)

MC SOLIGNY CHU-11 HCA6

F3 - PROFESSEURS CONVENTIONNÉS DE L'UNIVERSITÉ

Pr DEFAVRE Aurore
 Dr LAPOUILLE-CHEVALER Catherine
 Pr LEJOUX Jéhan
 Pr MAESTRI Antoine
 Pr MATSUURA Katsuko
 Pr QUELÉU Denis
 Pr RIE Jacques
 Pr BOURGNET Catherine
 Pr DEJAGER Barbara

Serment d'Hippocrate

En présence des maîtres de cette école, de mes chers condisciples, je promets et je jure au nom de l'Être suprême d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine. Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail.

Admis à l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe.

Ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser les crimes.

Respectueux et reconnaissant envers mes maîtres je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis resté fidèle à mes promesses. Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.

Remerciements

A Madame le Professeur Maria Gonzalez,

pour me faire l'honneur d'accepter de présider ce jury de thèse. Merci pour votre enseignement, pour les connaissances transmises tout au long de mon cursus et pour votre implication dans ma formation, ainsi que pour vos conseils précieux. Veuillez recevoir l'expression de mon profond respect.

.

A Monsieur le Professeur Patrice Bourgin,

pour me faire l'honneur d'avoir accepté de co-diriger ce travail, et pour m'avoir encadré et accompagné tout au long de ma formation dans la recherche sur le sommeil, de mes stages FST jusqu'à cette thèse. Merci pour votre confiance, votre encouragement et votre disponibilité. Veuillez recevoir l'expression de mon profond respect.

A Monsieur le Docteur Marc-André Goltzene,

pour me faire l'honneur d'avoir accepté de co-diriger cette thèse, et pour tes conseils tout au long de mon internat. Merci pour tes enseignements enrichissants, pour ta disponibilité à chaque fois que j'en avais besoin et pour m'avoir toujours guidé dans la bonne direction. Sois assuré de mon profond respect.

A Monsieur le Professeur Fabrice Berna,

pour me faire l'honneur de participer à ce jury de thèse et d'accepter de juger ce travail. Merci pour votre bienveillance et pour m'avoir accueilli dans votre service lors de mon premier stage à Strasbourg. Veuillez recevoir l'expression de mon profond respect.

A Madame le Professeur Nathalie Jeandidier,

pour me faire l'honneur de participer à ce jury de thèse et d'accepter de juger ce travail. Merci pour l'intérêt porté à ce travail. Veuillez recevoir l'expression de mon profond respect.

Aux Docteurs Elisabeth Ruppert, Ülker Kilic-Huck et Henri Comtet,

Je ne saurai jamais assez vous remercier pour tout ce que vous m'avez appris sur le plan professionnel et personnel pendant nos trois stages ensemble. Merci de tout cœur pour tout.

A toute l'équipe médicale et paramédicale du Centre des Troubles du Sommeil-CIRCSom,

sans qui le protocole sujet de cette thèse n'aurait pas pu avoir lieu. Merci pour les trois semestres extraordinaires passés ensemble.

A mes coinernes de la *team sommeil*,

pour leur soutien et les bons moments ensemble au quartier général et au service.

A toute l'équipe du Service de santé au travail de l'Université de Strasbourg, et un remerciement spécial aux Docteurs Laurence Kling et Elisabeth Gaertner,

pour le plaisir de travailler avec vous et pour m'avoir tant appris. Merci pour les belles aventures !

A mes amis en Sardaigne et dans le monde,

pour votre affection et votre soutien, pour les bons moments passés et à venir.

A ma famille,

pour votre amour, votre aide et votre soutien inestimable depuis au-delà de la mer.

A mon amour,

pour ta patience, ta dévotion et pour avoir eu confiance en moi quand pour moi c'était plus difficile. Sans toi ce travail n'aurait pas pu exister. Merci pour être toujours à mes côtés.

Table des matières

Liste des abréviations	18
Liste des figures et des tableaux.....	21
Introduction	23
1. Problématique.....	23
2. Population exposée.....	24
3. Bénéfices en milieu de de travail : <i>state of the art</i>	26
4. La régulation physiologique du sommeil et de l'éveil	28
5. L'influence non-visuelle de la lumière : des effets indirects aux effets directs	35
Hypothèses	40
Objectifs	40
Matériel et méthodes	41
1. Généralités : le protocole ChronoSomnoEEG	41
2. Recrutement (Pré-inclusion)	42
3. Visite d'inclusion (Visite n°1).....	43
4. Nuit diagnostique (Visite n°2).....	44
5. Session de 56 heures (Visite n°3).....	45
5.1 Protocole	45
5.2 KDT	49
5.3 KSS	50
5.4 PVT	50
5.5 SART	51
6. Critères d'inclusion et non-inclusion	51
6.1 Critères d'inclusion	51
6.2 Critères de non-inclusion	52
7. Analyses statistiques	52
8. Rôle et implication dans les démarches de recherche	54
Résultats	57
1. Description de l'échantillon	57
2. Somnolence objective	59
3. Somnolence subjective.....	61
4. Attention soutenue et mémoire de travail	63
5. Attention soutenue et temps de réaction	65

6. Analyses de sensibilité	69
Discussion	74
1. Discussion des résultats.....	74
2. Pistes de réflexion en santé au travail	78
3. Forces et limites	80
4. Perspectives.....	82
Conclusion.....	84
Annexes	89
1. Légende horaire des tests réalisés	89
2. Analyse statistique : KDT	90
3. Analyse statistique : KSS	94
4. Analyse statistique : SART	98
5. Analyse statistique : PVT	102
5.1 Temps de réaction	102
5.2 <i>Lapses</i>	106
6. Analyses de sensibilité	110
Bibliographie.....	113

Liste des abréviations

LED : diode électroluminescente

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

DARES : Direction de l'Animation de la Recherche, des Études et des Statistiques

SFST : Société Française de Santé au Travail

NREM : *Non rapid eye movements*

REM : *Rapid eye movements*

N1 : stade NREM1

N2 : stade NREM2

N3 : stade NREM3

NSC : noyaux Suprachiasmatiques

DLMO : *Dim Light Melatonin onset*

VLPO : noyaux préoptiques ventrolatéraux de l'hypothalamus

ipRGCs : cellules ganglionnaires intrinsèquement photosensibles

HUS : Hôpitaux Universitaires de Strasbourg

CPP : Comité de protection des personnes

ANSM : Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé

CNIL : Commission nationale de l'informatique et des libertés

EEG : électroencéphalographie

CIRCSom : Centre International de Recherche en Chronosomnologie

MINI : Mini International Neuropsychiatric Interview

PSQI : Pittsburgh Sleep Quality Index

SF-36 : Short Form (36) Health Survey

MEQ : Morningness Eveningness Questionnaire ou Questionnaire de chronotype de Horne et Ostberg

MCTQ : Munich Chronotype Questionnaire

ESS : Echelle de somnolence d'Epworth

ISI : Index de sévérité de l'insomnie

BDI : Inventaire de dépression Beck

RCTQ : Racing and Crowded Thoughts Questionnaire

VRB : Volontaires pour la Recherche Biomédicale

eCRF cahiers d'observation électroniques

EOG : électroculographie

EMG : électromyographie

ECG : électrocardiographie

SD : *sleep deprivation*, privation de sommeil

Naps : siestes

DL : *dim light*, lumière tamisée

BEL : *blue enriched light*, lumière bleue

PVSAT : Paced and Visual Serial Addition Task

DSST : Digit Symbol Substitution Test

SART Sustained Attention to Response Task

PVT : Psychomotor Vigilance Task

vPSG : vidéopolysomnographie

KDT : Karolisnka Drowsiness Test

KSS : Karolisnka Sleepiness Scale

FST : Formation Spécialisée Transversale

Liste des figures et des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques de l'échantillon par groupe et dans sa totalité.....	58
Tableau 2 : Horaires des tests réalisés au cours de la période de 40 heures.....	89
Figure 1 : Spectre d'émission typique d'une LED blanche.....	24
Figure 2 : Représentation du <i>flip flop switch</i> de la régulation du sommeil et de l'éveil.....	29
Figure 3 : Placement bilatéral des capteurs pour l'EEG, l'EOG et l'EMG durant une vPSG.....	30
Figure 4 : Hypnogramme d'un jeune sujet sain.....	31
Figure 5 : Modèle à deux processus de la régulation du sommeil et de l'éveil.....	32
Figure 6 : Noyaux suprachiasmatiques au sein de l'hypothalamus visibles à l'IRM cérébrale au-dessus du chiasma optique et bilatéralement au troisième ventricule ; Efférences des noyaux suprachiasmatiques ; Représentation schématique de boucles de rétroaction de la régulation des gènes horloge.....	34
Figure 7 : Schéma des populations neuronales de la rétine humaine.....	36
Figure 8 : Modèle à trois processus de la régulation du sommeil et de l'éveil proposé par notre équipe.....	38
Figure 9 : Illustration des différentes étapes du protocole.....	42
Figure 10 : Déroulé complet de l'étude ChronoSomnoEEG avec la session de 56 heures en détails.....	46
Figure 11 : Chambre de chronobiologie au CIRCSom avec administration de pulse de lumière blanche enrichie en bleu.....	48

Figure 12 : Placement des électrodes pour l'enregistrement électroencéphalographique au cours de la session de 56 heures.....	49
Figure 13 : Comparaison entre les deux protocoles ChronoSomnoEEG et LumEnColor.....	55
Figure 14 : Diagramme de flux de la population de l'étude ChronoSomnoEEG.....	57
Figure 15 : Analyse de la somnolence objective sur la période de 40 heures : représentation graphique des moyennes et des écarts-type.....	59
Figure 16 : Analyse de la somnolence subjective sur la période de 40 heures : représentation graphique des moyennes et des écarts-type.....	61
Figure 17 : Analyse du score de précision sur la période de 40 heures : représentation graphique des moyennes et des écarts-type.....	63
Figure 18 : Analyse du temps de réaction en millisecondes sur la période de 40 heures : représentation graphique des moyennes et des écarts-type.....	65
Figure 19 : Analyse du nombre de <i>lapses</i> sur la période de 40 heures : représentation graphique des moyennes et des écarts-type.....	67
Figure 20 : Analyses de sensibilité sur le rapport thêta/alpha yeux fermé au KDT.....	69
Figure 21 : Analyses de sensibilité sur le score de somnolence au KSS.....	70
Figure 22 : Analyses de sensibilité sur le score de précision au SART.....	71
Figure 23 : Analyses de sensibilité sur le temps de réaction au PVT.....	72
Figure 24 : Analyses de sensibilité sur le nombre de lapses au PVT.....	73

Introduction

1. Problématique

L'intégration ou la substitution de la lumière naturelle du soleil par un éclairage artificiel en milieu de travail soulève des interrogations dans le domaine de la santé au travail concernant les éventuelles répercussions sanitaires pour les travailleurs qui y sont exposés. Suite à la directive européenne sur l'éco-conception des produits consommateurs d'énergie, dite Directive « EuP » (Energy using Products) (1), la planification du retrait des lampes à incandescence entre 2009 et 2012 ainsi que des lampes halogènes classiques en 2018 du marché de l'éclairage a conduit à une expansion significative des éclairages à diodes électroluminescentes (LED) sur le marché grand public et par conséquent sur les lieux de travail (2) (3).

Les LEDs ont désormais des très nombreuses applications telles que le rétro-éclairage des écrans (téléphones, tablettes, ordinateurs), l'éclairage intérieur et extérieur ainsi que l'affichage et la signalisation (2) (4). Ce changement favorise davantage l'exposition à des sources lumineuses dont le spectre de couleur est hétérogène et enrichi en composantes monochromatiques : les LEDs sont en effet connues pour émettre abondamment des rayonnements à des longueurs d'ondes courtes en particulier dans le spectre de la lumière bleue, qui se situe entre 450 et 480 nanomètres (2) (3) (4), comme illustré sur la Figure 1. Cette partie du spectre de la lumière est objet d'intérêt, de recherche et d'étude par le monde scientifique en raison principalement de deux risques pour la santé : l'effet phototoxique vis-à-vis de la rétine (4), au sujet duquel l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) a récemment publié un rapport d'expertise concernant les valeurs limites d'exposition (5) et qui ne sera pas détaillé dans ce manuscrit, et la perturbation des rythmes biologiques circadiens et particulièrement le rythme circadien veille-sommeil (2). Pour ce dernier une population particulièrement à risque est

constituée par les travailleurs de nuit et les travailleurs postés, qui se trouvent soumis à une exposition lumineuse souvent riche en lumière bleue pendant la nuit sur le poste de travail (6).

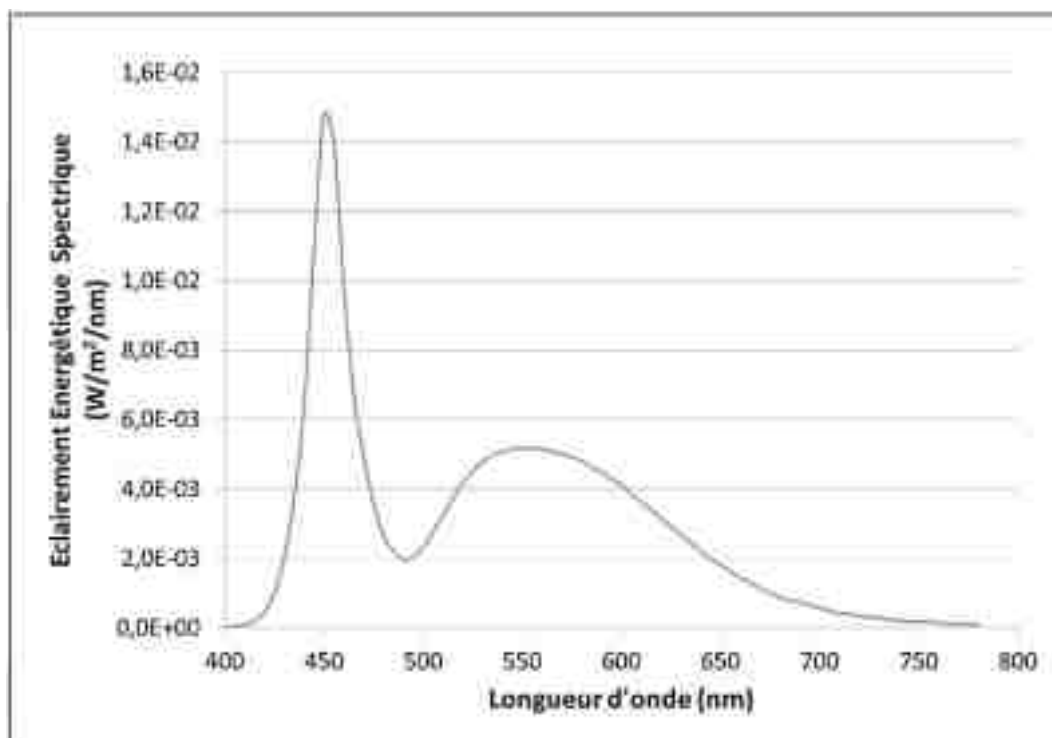


Figure 1. Spectre d'émission typique d'une LED blanche (4). Nm : nanomètres ; W : watts ; m² : mètres carrés.

2. Population exposée

Les travailleurs de nuit et postés représentent une proportion significative des personnes en activité : l'enquête SUMER réalisée entre 2016 et 2017 retrouvait que 14,2 % de l'ensemble des travailleurs en France étaient soumis régulièrement ou occasionnellement à des horaires de travail qui s'étendaient entre minuit et cinq heures du matin, pourcentage qui atteignait 26,7 % des travailleurs dans la fonction publique hospitalière et 22,3% dans la fonction publique d'Etat (7). L'enquête de la Direction de l'Animation de la Recherche, des Études et des Statistiques (DARES) réalisée en 2018 sur les horaires atypiques de travail a également mis en évidence qu'en France 23,3% des salariés et 41,5 % des non-salariés travaillaient régulièrement ou occasionnellement

entre vingt heures et minuit, et 9,1% des salariés et 10% des non-salariés entre minuit et cinq heures du matin (8).

Les principaux métiers qui amènent à travailler régulièrement ou occasionnellement (lors du travail posté) la nuit sont les employés civils et agents de service de la fonction publique, les professions intermédiaires de la santé et du travail social, le personnel des services directs aux particuliers, les ouvriers de type industriel qualifiés et non qualifiés, les policiers, les militaires et les chauffeurs (6). Les catégories professionnelles qui sont considérées particulièrement exposées à la lumière bleue en raison des LEDs incluent également, en plus de tout travail de nuit ou en synergie, les métiers du spectacle (en raison des projecteurs à LED) (9), le personnel intervenant sur les installations d'éclairage, le personnel chargé de la conception ainsi que du contrôle qualité des appareils à LED, les opérateurs chargés du contrôle qualité en général (en raison des LEDs bleues utilisées en remplacement des lampes UV) (4), les chirurgiens et les dentistes ainsi que les travailleurs du secteur agroalimentaire utilisant des LEDs dans le cadre du travail en serre ou en aquaculture (2).

La santé au travail doit également prendre en compte l'existence de groupes d'individus qui pour raisons médicales présentent une sensibilité accrue à la lumière visible, raison pour laquelle ils sont potentiellement plus exposés que les autres aux risques liés à la lumière bleue, et ceci qu'elle que soit leur activité professionnelle. Ces groupes sont les personnes aphakes et pseudophakes, les personnes atteintes de pathologies oculaires telles que syndrome sec ou rétinopathies, les personnes présentant des troubles moteurs ou cognitifs qui restreignent leur capacité à éviter une source de lumière excessivement intense et les personnes avec un traitement photosensibilisant ou exposés à des polluants photosensibilisants (2) (4).

3. Bénéfices en milieu de de travail : *state of the art*

Malgré les risques pour la santé dus à une exposition inadaptée à la lumière bleue, la recherche scientifique s'est également concentrée sur les possibles bénéfices de l'exposition lumineuse. L'action de la lumière sur l'humeur en tant qu'agent antidépresseur est largement connue (10) (11). Par ailleurs, des études menées chez l'être humain ont démontré l'augmentation de la vigilance et la diminution de la somnolence en réaction à l'exposition à la lumière (12) (13) (14) (15) ainsi que l'amélioration des performances cognitives (16). La recherche scientifique a également mis en évidence que ces effets bénéfiques seraient maximaux lors d'une exposition à une lumière enrichie en courtes longueurs d'ondes (16) (17) (18) (19) ainsi que lors d'une exposition pendant la nuit (13) (20) (21) et au petit matin (22).

Cette période temporelle est caractérisée par une fréquence généralement augmentée des accidents du travail (5) (23) (24) (25) (26). Un résultats intéressant est illustré par une étude menée chez des policiers en activité qui a mis en évidence que la travail de nuit augmente le risque relatif d'accident du travail de 72% par rapport au travail de jour (27). Par ailleurs la gravité des accidents est aussi indiquée comme généralement plus élevée par les études considérant en tant qu'indicateur le nombre de jours d'arrêt qui suivent (5). Une étude sur les accidents du travail mortels a retrouvé un taux de mortalité deux fois plus important la nuit que la jour (28). Des cas très parlants sont représentés par les catastrophes industrielles de Tchernobyl, Bhopal, ExxonValdez et Three Miles Island (29). Le risque routier est également concerné, même si le lien entre accident routier et période nocturne est généralement décrit comme indirect et passant par le biais d'un problème de somnolence ou de troubles du sommeil dans un contexte d'horaires atypiques de travail (5) : en particulier une étude menée chez des infirmiers a retrouvé un risque relatif d'évènements de conduite dangereuse 8 fois plus élevé et d'inattention 3 fois plus élevé lors du retour à domicile après le poste de nuit (30).

Cette vulnérabilité vers des accidents à la fois plus fréquents et plus graves s'explique à la fois par des facteurs organisationnels, environnementaux et managériaux mais aussi par une baisse de la vigilance et des performances cognitives des travailleurs de nuit et des travailleurs postés lors d'un poste de nuit (5). Pour ces raisons, de nombreuses études ont été réalisées afin d'étudier les effets d'une exposition lumineuse la nuit sur le poste de travail ou en simulation de celui-ci. Les résultats sont globalement positifs et montrent une réduction de la somnolence au volant (31), une amélioration de la vigilance (32) , un taux inférieur d'accidents (33) et une amélioration des performances cognitives (34) ainsi qu'une réduction des erreurs au cours de la nuit (35). Une méta-analyse réalisée sur des études menées chez des infirmières exposées à une lumière de forte intensité a mis en évidence une réduction de la somnolence, des plaintes liées au poste de nuit et de l'insomnie, et une augmentation de la vigilance mais aussi des erreurs psychomotrices par rapport au groupe contrôle (36).

Dans son rapport d'expertise sur les risques sanitaires liés au travail de nuit en 2016, l'ANSES recommande d'augmenter l'intensité de la lumière pendant le poste de travail nocturne dans le but d'une vigilance accrue (6). La Société Française de Médecine du Travail, actuellement Société Française de Santé au Travail (SFST), le préconisait déjà dans ses recommandations en 2012 sous réserve cependant d'une limitation de l'exposition en fin de poste de travail et d'une caractérisation par des études ultérieures des effets secondaires et de la longueur d'onde à utiliser (37). Dans sa revue sur les effets de la lumière dans le cadre du travail posté et de nuit Gronfier recommandait une exposition à une lumière de forte intensité pour optimiser le fonctionnement cognitif et psychomoteur avec également une diminution des accidents (38).

Enfin, dans son rapport d'expertise sur les effets sanitaires des LEDs l'ANSES suggère, en tant que perspective et axe de recherche scientifique ultérieure dans le contexte du travail de nuit et posté, d'étudier l'avantage potentiel d'une exposition lumineuse sélective à des longueurs d'onde

spécifiques en fonction de l'heure de la journée afin de promouvoir à la fois la vigilance et la récupération, tout en minimisant les effets indésirables (2).

Afin de comprendre l'effet de la lumière et particulièrement de la lumière bleue sur l'éveil, la vigilance et les performances cognitives il est nécessaire d'approfondir le sujet de la régulation physiologique du sommeil et de l'éveil.

4. La régulation physiologique du sommeil et de l'éveil

L'état de veille (ou éveil) et l'état de sommeil se succèdent régulièrement chez les mammifères, dont l'être humain fait partie. Du point de vue du comportement chez l'Homme, l'éveil se distingue par l'interaction normale du sujet avec son environnement, tandis que le sommeil se traduit par une suspension de conscience partielle, périodique et rapidement réversible, déclenchée par une stimulation adéquate des rapports sensitivomoteurs de l'organisme avec son milieu (39). Le sommeil constitue environ un tiers de la vie de l'Homme et est nécessaire afin d'assurer la survie de l'organisme (39). Il intervient dans une vaste gamme de processus physiologiques (40) incluant la plasticité synaptique (41), le métabolisme énergétique de l'organisme (42) ainsi que cellulaire cérébral (43), le système immunitaire (44) et lymphatique (45), le système endocrinien (46), ainsi que dans des aspects psychologiques tels que l'humeur et la régulation des émotions (47) ainsi que des aspects cognitifs tels que l'apprentissage et la mémoire (48).

L'être humain alterne quotidiennement une période d'éveil d'environ 16 heures pendant la journée et une période de sommeil d'environ 8 heures au cours de la nuit. Sur le plan neurobiologique, la transition entre éveil et sommeil consiste en un système d'inhibition réciproque entre les systèmes monoaminergiques noradrénergique, sérotoninergique et histaminergique qui favorisent l'éveil et une population de neurones GABAergiques des noyaux préoptiques ventrolatéraux de l'hypothalamus (VLPO) qui favorisent le sommeil lent (49). Ce mécanisme décrit comme un *flip-flop switch* est sous contrôle d'un troisième acteur représenté par le système hypocrétinergique (ou

oréxinergique) qui stimule les systèmes d'éveil et qui en revanche est inhibé par le VLPO lors du sommeil (49), observable sur la Figure 2.

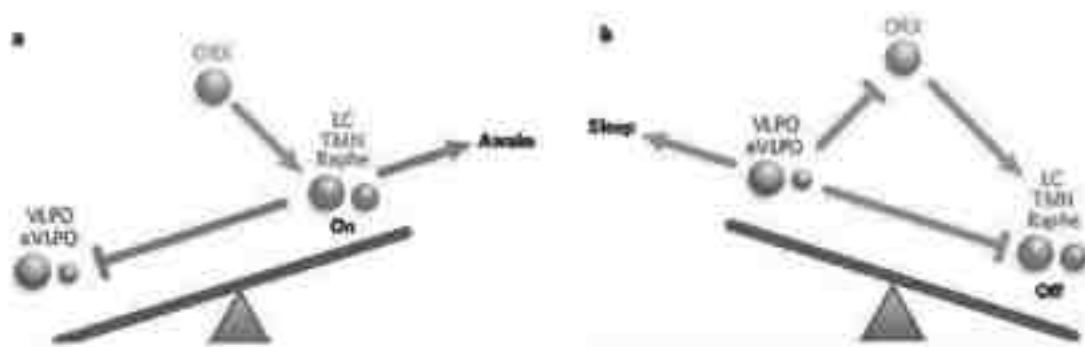


Figure 2. Représentation du flip flop switch de la régulation du sommeil et de l'éveil (49). En violet : systèmes de sommeil ; En rouge : systèmes monoaminergiques d'éveil ; En vert : système oréxinergique ; VLPO : noyaux préoptiques ventrolatéraux de l'hypothalamus ; eVLPO : extension du VLPO ; ORX : oréxine ; LC : locus coeruleus (noradrénaline) ; TMN : noyaux tubéromammillaires (histamine) ; Raphe : noyaux du raphe dorsal (sérotonine) ; Awake : éveil ; Sleep : sommeil).

Le sommeil est caractérisé chez l'adulte par l'alternance de périodes connues en tant que sommeil lent (NREM : *non rapid eye movements*) et sommeil paradoxal (REM : *rapid eye movements*) (50), qui sont organisées en cycles durant entre 60 et 90 minutes (39). Un cycle de sommeil rassemble tous les stades du sommeil, qui incluent le sommeil lent léger (stades NREM1 ou N1 et NREM2 ou N2), le sommeil lent profond (stade NREM3 ou N3) et le sommeil paradoxal (stade REM ou SP) (51). Ces quatre stades de sommeil (en plus de l'état de veille ou WAKE) ne peuvent être distingués que grâce à des critères électroencéphalographiques (EEG), électroculographiques (EOG) et électromyographiques (EMG), par conséquent l'examen qui constitue le *gold standard* pour les identifier est la vidéo-polysomnographie (vPSG), qui prévoit entre autres tous ces capteurs (39) (51), dont un schéma est observable sur la Figure 3.

Globalement le sommeil lent est caractérisé par un ralentissement global de l'activité EEG mesurée au niveau du scalp, tandis que lors de l'état de veille les activités prédominantes sont lors de la veille active un rythme rapide appelé beta (β) et lors de la veille calme yeux fermés un rythme plus lent appelé alpha (α).

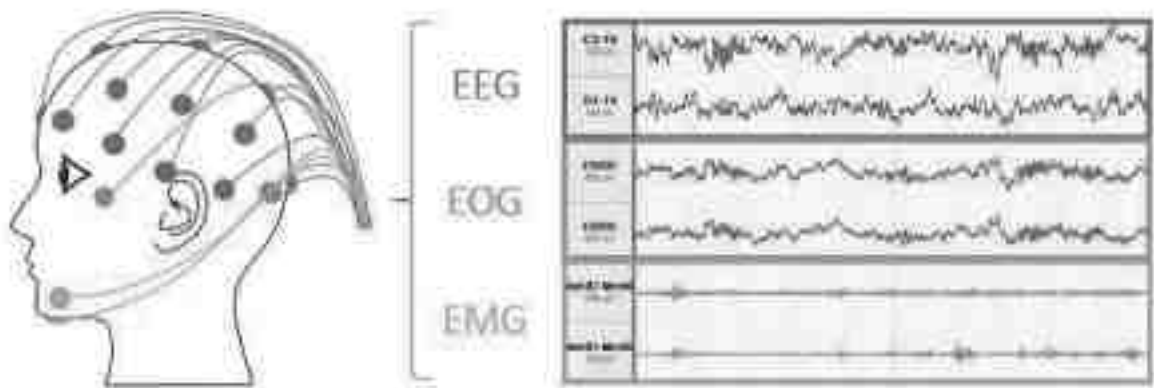


Figure 3. Placement bilatéral des capteurs pour l'EEG (gris), l'EOG (bleu) et l'EMG (vert) durant une vPSG. Les capteurs de l'ECG, respiratoires et les EMG jambiers ne sont pas représentés. (52)

Ce dernier est observable sur les dérives occipitales où le cortex visuel est localisé, se situe sur une bande de fréquence de 8 à 12 Hertz (Hz) et précède généralement l'endormissement (51). L'endormissement (stade N1) est caractérisé par l'apparition d'une activité prédominante lente et de faible amplitude appelée thêta (θ , entre 4 et 8 Hz) ainsi que par des mouvements oculaires lents. En approfondissant le sommeil un être humain passe ensuite en stade N2 (caractérisé par des marqueurs électrophysiologiques représentés par les complexes K et les fuseaux, toujours avec une prédominance de l'activité θ) et puis en stade N3, avec la diminution du tonus musculaire ainsi que l'apparition prépondérante d'une activité à ondes lentes appelée delta (δ) se situant sur une bande de fréquence entre 0,5 et 2 Hz et avec une amplitude pic à pic supérieure à 75 μ V, observable principalement sur les régions frontales. Le stade REM d'autre part est défini par une activité EEG

rapide et proche de la veille et des mouvements oculaires rapides également typiques de l'éveil mais par une atonie musculaire presque complète. Le jeune sujet sain a habituellement une composition du sommeil nocturne qui prévoit globalement 5% de N1, 50% de N2, 25% de N3 et 20% de REM. Ces quatre stades de sommeil sont tous représentés dans un cycle de sommeil, où une période NREM (N1, puis N2, ensuite N3) est suivie par une période REM. La structure des cycles varie au cours de la nuit, les premiers étant plus riches en N3 et les derniers en REM (51)(Figure 4).

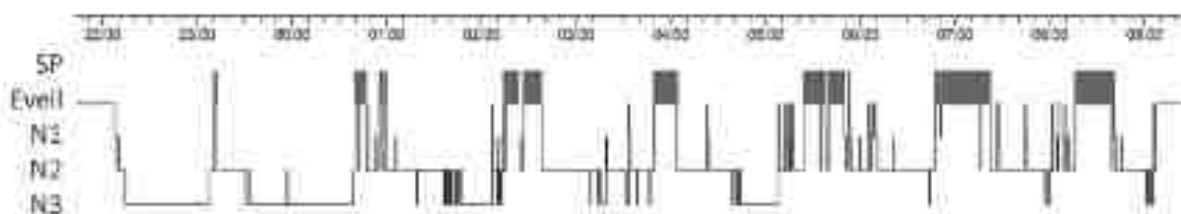


Figure 4. Hypnogramme d'un jeune sujet sain. SP : stade REM ; N1 : stade NREM1 ; N2 : stade NREM 2 ; N3 : stade NREM3 ; chiffres : horaire. Source : Centre des Troubles du Sommeil-CIRCSom.

Le besoin quotidien de sommeil varie au cours de la vie de l'être humain en diminuant en fonction de l'âge ; il se situe se situe entre 7 et 9 heures chez le jeune adulte. Une hétérogénéité inter-individuelle de la durée et de la préférence circadienne existe sur base génétique qui caractérise les courts et longs dormeurs et les prédispositions circadiennes individuelles appelées chronotypes du matin et du soir (53) (54) (55). Traditionnellement, au cours des dernières décennies, la régulation du sommeil et de l'éveil était décrite selon un modèle synergique défini à deux processus (56) (57) (58), structurellement indépendants mais sous une possible modulation bidirectionnelle (59) observable sur la Figure 5 :

- Le processus homéostatique prévoit que l'accumulation de la pression de sommeil (propension de l'organisme à s'endormir) se produise pendant l'éveil en fonction du temps

passé éveillé et se dissipe pendant le sommeil, principalement pendant le stade du sommeil lent profond. La pression de sommeil peut être mesurée et quantifiée sur le plan électroencéphalographique par la puissance spectrale dans la bande de fréquence δ au cours du sommeil lent (60) et dans la bande de fréquence thêta-alpha (6,25 – 9 Hz) à l'éveil (61). Lorsque cette pression de sommeil n'est pas totalement évacuée pendant un épisode quotidien de sommeil, une privation de sommeil partielle, ou dette de sommeil, est générée. Cette condition, et notamment lors d'une privation complète, est connue pour déterminer des effets négatifs et parfois néfastes sur le plan cardiovasculaire, métabolique (62) (63), comportemental et sur le plan des performances cognitives qui sont fortement diminuées, particulièrement la vigilance (64) (65) (66). Généralement un organisme en privation de sommeil a tendance à augmenter son temps total de sommeil lors de la nuit suivante la privation, avec une augmentation de la puissance spectrale δ surtout en début de nuit (60). Sur le plan neurochimique l'hypothèse principale explique la pression de sommeil par une accumulation extracellulaire d'adénosine inhibant un des principaux systèmes d'éveil, favorisant la survenue de l'activité synchronisée lente du sommeil et régulant la balance du glycogène cérébral, ce qui explique également l'action éveillante de la caféine qui est un antagoniste de l'adénosine (43).

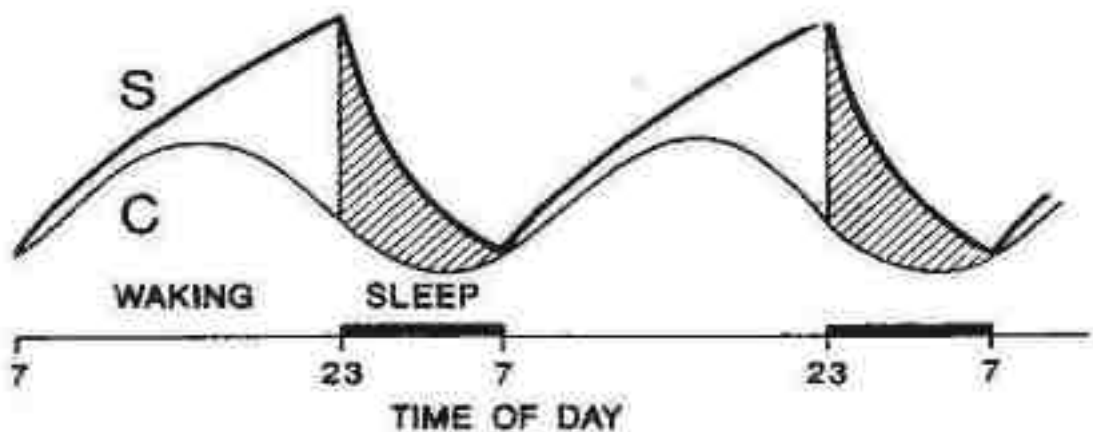


Figure 5. Modèle à deux processus de la régulation du sommeil et de l'éveil. S : processus homéostatique ; C : processus circadien ; Waking : éveil ; Sleep : sommeil ; Time of day : heure de la journée. (56)

- Le processus circadien est représenté par un système de contrôle central assuré par l'horloge principale (ou *master clock*), située dans les noyaux suprachiasmatiques (NSC) de l'hypothalamus, qui génère des rythmes endogènes d'environ 24 heures par conséquent appelés circadiens, de *circa* « environ » et *die* « jour ». Le rythme endogène de l'horloge n'étant pas exactement de 24 heures, elle nécessite d'être quotidiennement synchronisée par des *zeitgebers* ou « donneurs de temps », dont le plus puissant est l'alternance entre lumière et obscurité (jour/nuit), information qui est transmise directement aux NSC. Les autres *zeitgebers* sont l'activité physique, les interactions sociales et les prises alimentaires. L'horloge principale synchronise les horloges périphériques, distribuées dans la plupart des organes et des tissus de l'organisme, et générant un rythme circadien dans chacun de ces organes (67). Parmi ceux-ci, le rythme circadien veille-sommeil est particulièrement important, sous contrôle de l'horloge principale, définissant les périodes propices à l'éveil et au sommeil au cours d'une journée de 24 heures, en promouvant surtout l'éveil en fin de journée et le sommeil en fin de nuit. Ces rythmes incluent également le rythme alimentation-jeûne, des rythmes hormonaux (mélatonine, cortisol), des rythmes des fonctions physiologiques (température corporelle centrale, fréquence cardiaque) ainsi que des performances cognitives et de l'humeur (68).

Les marqueurs principaux du processus circadien sont le rythme de la température centrale, qui atteint le zénith en fin d'après-midi et le nadir en fin de nuit, et de la sécrétion de mélatonine. La mélatonine (N-acetyl-5-methoxytryptamine), hormone synthétisée et libérée dans la circulation systémique par la glande pinéale pendant l'obscurité, a la fonction principale de synchroniser, via ses récepteurs MT1 et MT2, les horloges principales et périphériques à l'alternance jour/nuit en accord avec les modifications de la photopériode au cours de l'année, sa production étant inhibée par la lumière (69) (70). Elle possède également des propriétés hypnotiques (71). Typiquement le début de sécrétion se situe environ 2 heures avant l'endormissement et en l'absence de facteurs extérieurs

(notamment en absence d'exposition lumineuse significative) ; il est appelé *Dim Light Melatonin Onset* (DLMO) (72).

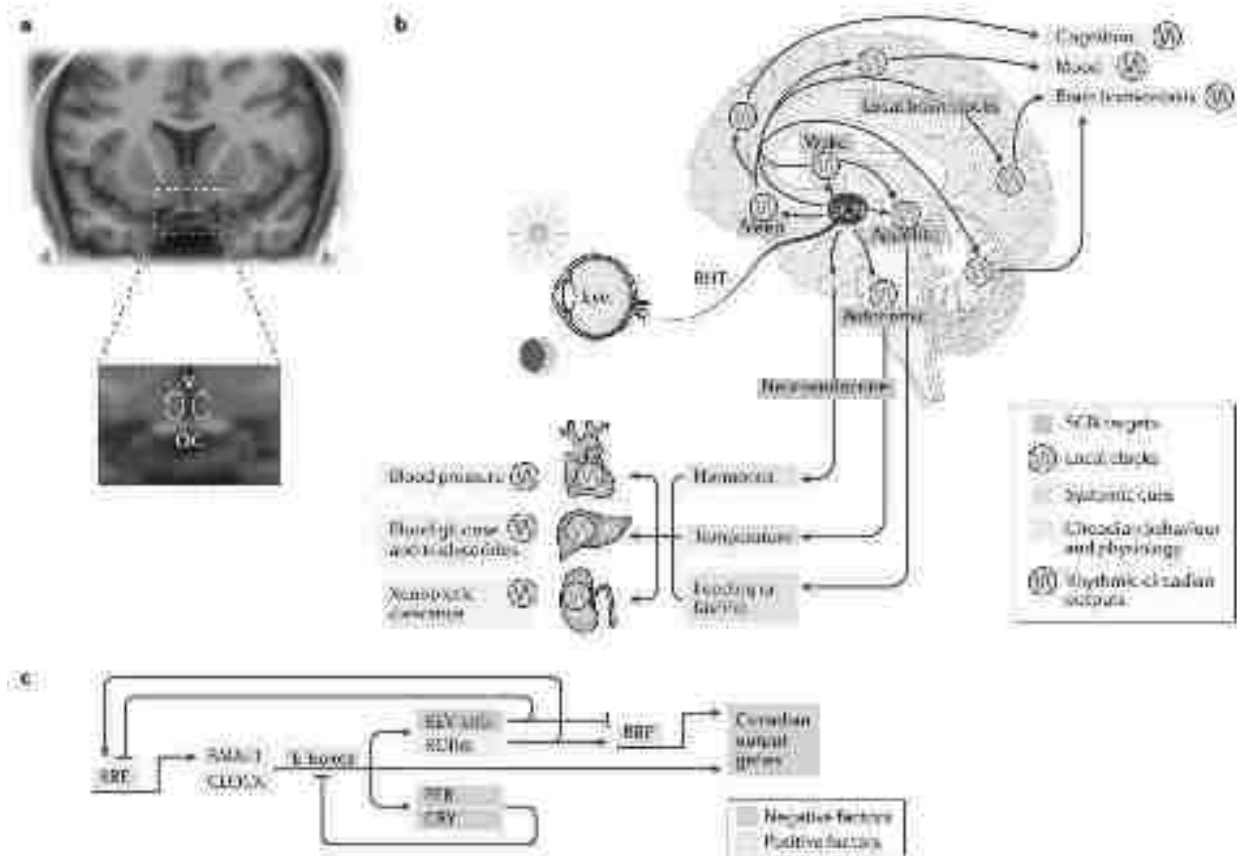


Figure 6. a) Noyaux suprachiasmatiques au sein de l'hypothalamus visibles à l'IRM cérébrale au-dessus du chiasma optique et bilatéralement au troisième ventricule ; b) Efférences des noyaux suprachiasmatiques ; c) Représentation schématique de boucles de rétroaction de la régulation des gènes horloge. OC : chiasma optique ; V : troisième ventricule ; SCN : noyaux suprachiasmatiques. (68)

Sa sécrétion atteint ensuite son zénith en milieu de nuit et décline progressivement jusqu'à des niveaux indétectables en début de journée (72).

Au niveau moléculaire, les NSC et les horloges périphériques sont régulés par des boucles de rétroaction qui impliquent la transcription des gènes horloge (Clock et Bmal1), favorisée par la lumière, et stimulent la transcription des gènes Per1, Per2, Cry1 et Cry 2, qui

exercent une rétroaction négative sur l'action de Clock et Bmal1 en fonction de leur concentration, typiquement en soirée (68) (73).

Lorsque le rythme circadien veille-sommeil d'un sujet correspond au rythme environnemental jour-nuit il est défini « *en phase* » avec celui-ci. Cette phase circadienne peut être décalée de façon physiologique lors de prédispositions génétiques appelées chronotypes du matin ou du soir (74), paraphysiologique dans le contexte du travail de nuit et posté ou pathologique dans le cadre des troubles du rythme circadien veille-sommeil (75). Le marqueur le plus fiable pour déterminer la phase circadienne d'un individu est le DLMO qui peut être mis en évidence sur différents fluides biologiques (72).

Ce modèle historique de la régulation du rythme veille-sommeil à deux processus a été récemment mis en question par les résultats de recherche de notre équipe qui a proposé un modèle à trois processus où la lumière constitue un troisième élément clé de contrôle, visible sur la Figure 8 (76).

5. L'influence non-visuelle de la lumière : des effets indirects aux effets directs

La captation oculaire de la lumière est réalisée par la rétine. Deux populations cellulaires, ou photorécepteurs, situées dans sa couche externe sont dédiées à la vision (les cônes, pour la vision des couleurs, et les bâtonnets, pour la vision scotopique) et transmettent l'information lumineuse visuelle aux cellules ganglionnaires via la phototransduction. La mise en évidence dans les années 1990 d'une persistance de suppression de sécrétion de la mélatonine par la lumière chez des sujets aveugles (77) a conduit ensuite à la découverte d'un troisième photorécepteur : les cellules ganglionnaires à mélanopsine, ou cellules ganglionnaires intrinsèquement photosensibles (ipRGCs) (78). Il s'agit d'une sous-population des cellules ganglionnaires de la rétine existant en 5 sous-types chez l'humain (de M1 à M5), qui ont des propriétés et des afférences différentes et qui captent l'information lumineuse, indépendamment des cônes et des bâtonnets malgré des

afférences directes depuis ces deux populations (79) (80), observables sur la Figure 7. La mélanopsine est un photopigment qui a la spécificité d'avoir un pic de réponse entre 460 et 480 nanomètres, ce qui correspond à la lumière bleue du spectre de la lumière visible (81). Le signal lumineux via la phototransduction est transmis par deux voies différentes, celle visuelle (non détaillée dans ce manuscrit) et non-visuelle. En plus de la réception directe de la lumière de la part des ipRGCs, l'information lumineuse qui leur est transmise par les cônes et les bâtonnets participe à la voie non-visuelle, mais dans une moindre proportion que la mélanopsine (82). Parmi les cinq sous-types, les ipRGCs M1 sont celles principalement impliquées dans la voie non-visuelle, mais tous les 5 sous-types participent à cette voie avec des efférences sur différentes structures du système nerveux central qui ne font pas partie des aires dédiées à la formation d'images (83). Les projections des ipRGCs arrivent aux régions cérébrales qui sont dédiées à la régulation des rythmes circadiens (noyaux suprachiasmatiques en tant que cible principale, zone sous-paraventriculaire et feuillet intergéniculé) mais également aux structures présidant le contrôle du sommeil (VLPO et hypothalamus latéral).

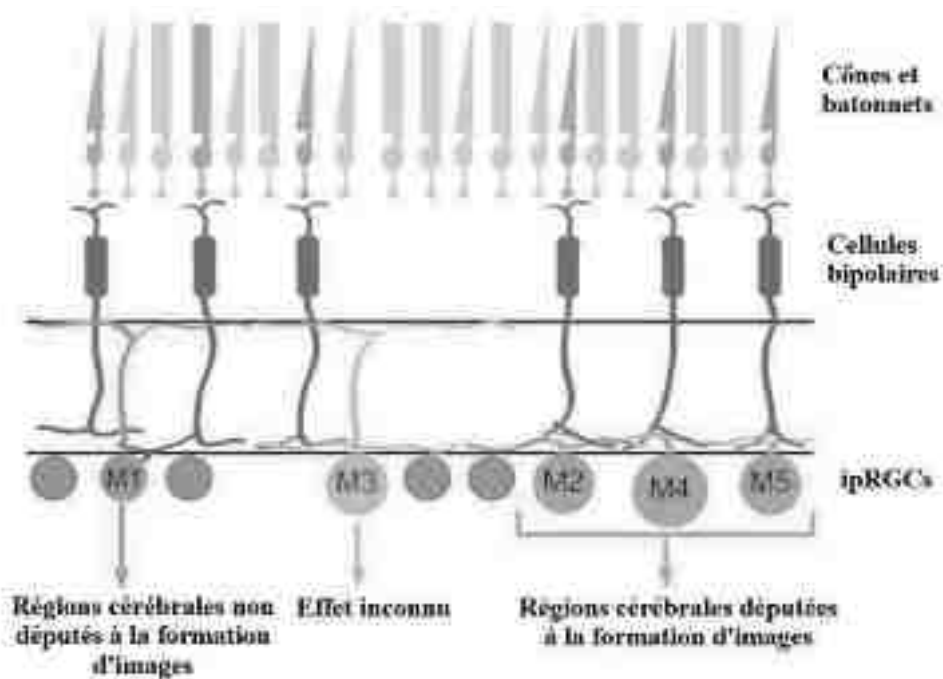


Figure 7. Schéma des populations neuronales de la rétine humaine. ipRGCs : cellules ganglionnaires intrinsèquement photosensibles ; M1-5 : sous-types d'ipRGCs (83).

Des autres efférences atteignent le noyau olivaire préteetal, qui est à la base du réflexe photomoteur de la pupille, et des structures impliquées dans l'humeur telles que l'amygdale médiane et l'habenula latérale (76) (83). Il est aussi à noter que certaines régions cérébrales reçoivent des projections à la fois des ipRGCs et des NSC (83). Les effets non-visuels peuvent être divisés en effets indirects, donc par le biais du processus circadien, et directs :

Les effets indirects via le processus circadien, dont la lumière est le principal *zeitgeber*, déterminent une perturbation des rythmes biologiques circadiens avec un retard ou une avance de ces derniers en fonction du moment circadien d'administration, spécifiquement un retard en cas d'exposition avant le nadir du rythme de la température centrale et d'avance si après celui-ci, selon une courbe de réponse de phase (75) (84). Pour cette raison les travailleurs de nuit et postés sont considérés comme une population à risque vis-à-vis de l'exposition à une lumière bleue (2) (6). Généralement les rythmes biologiques nécessitent plusieurs jours d'exposition pendant au moins 3-4 heures pour qu'un décalage se vérifie (85). Ces effets indirects sont également impliqués dans des troubles du sommeil et de l'humeur (86) (87).

Récemment notre équipe a également démontré chez la souris un effet de la lumière via le processus homéostatique, pour lequel les souris déficientes en mélanopsine présenteraient une puissance spectrale δ diminuée à l'EEG après une privation de sommeil par rapport à des souris *wild type* (88).

Les effets directs, donc exercés indépendamment des deux autres processus, ont été hypothétisés chez l'être humain grâce à des études qui ont montré les résultats détaillés dans la section 3 (augmentation de la vigilance, diminution de la somnolence, amélioration des performances cognitives), et ce particulièrement lorsqu'une lumière enrichie en bleu était utilisée ainsi qu'en cas d'administration lors de la nuit subjective du processus circadien ou au petit matin (12) (13) (14) (15) (16) (22) . Ces effets sont considérés directs car observés au moment de l'administration de lumière et non pas les jours suivants comme lors d'un décalage de phase (89). Les résultats lors

de l'exposition à une lumière enrichie en courtes longueurs d'onde (18) (19) suggèrent une implication exclusive ou partielle de la mélanopsine, en raison de son pic de réponse, et par conséquent des ipRGCs et leur efférences. Grâce aux travaux effectués par notre équipe chez la souris, la mélanopsine a été identifiée comme principal médiateur des effets directs lors de la nuit subjective du processus circadien, et les cônes et les bâtonnets lors du jour subjectif (88). Par ailleurs notre équipe a démontré chez la souris que les effets directs de la lumière sont médiés par moitié par les NSC et sont responsables de 45 % de l'amplitude du cycle veille-sommeil au cours du nyctémère, le processus circadien n'étant responsable que de 55% de celle-ci (82).

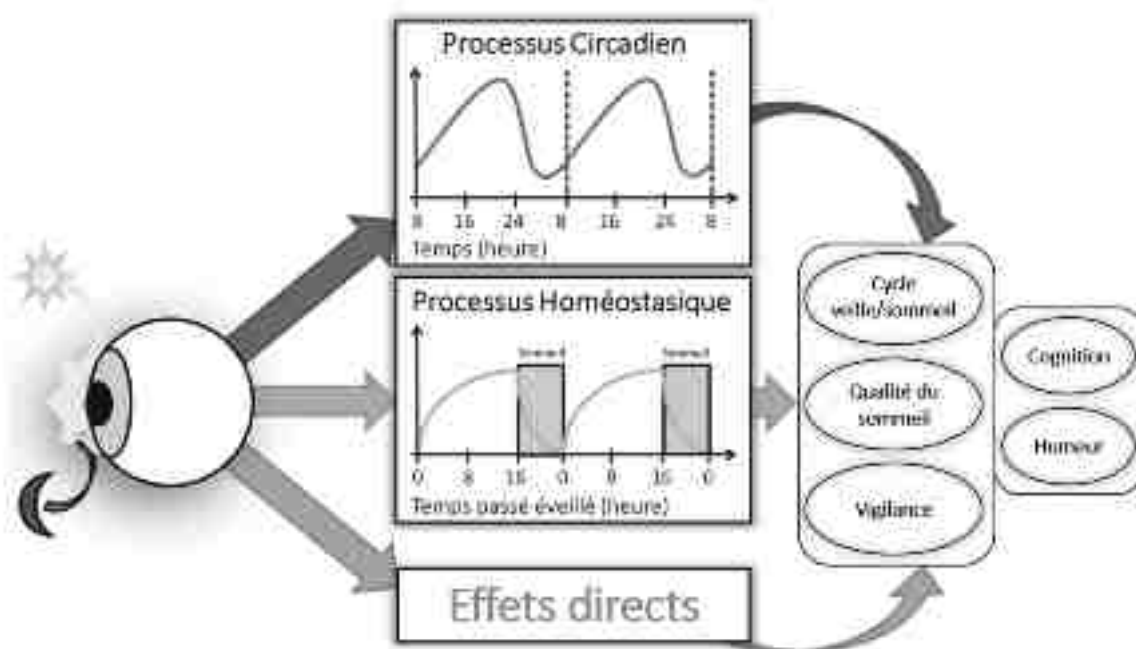


Figure 8. Modèle à trois processus de la régulation du sommeil et de l'éveil proposé par notre équipe (76).

Au vu des enjeux en santé au travail représentés d'une part par l'exposition à la lumière bleue et d'autre part la vulnérabilité propre des travailleurs de nuit et postés en raison d'une altération des fonctions physiologiques qui sembleraient particulièrement sensibles à cette partie du spectre de la lumière, il semble pertinent de caractériser ces effets directs pour pouvoir distinguer les

bénéfices et les risques de cette exposition lumineuse en milieu de travail en fonction du processus homéostatique et circadien des travailleurs.

Hypothèses

L'exposition à une lumière blanche enrichie en bleu a des effets bénéfiques sur la vigilance, l'éveil et les performances cognitives. Ces effets bénéfiques sont les plus marqués durant la période de nuit subjective du rythme circadien veille-sommeil et en condition de privation de sommeil.

Objectifs

Objectif principal : Caractériser les effets directs de l'exposition à une lumière ambiante enrichie en bleu sur la vigilance, la somnolence et les performances cognitives en fonction du niveau de pression homéostatique de sommeil et du moment de la journée.

Objectif secondaire : Proposer de pistes de réflexion pour une application clinique des résultats dans les domaines de la prévention et de la santé au travail.

Matériel et méthodes

1. Généralités : le protocole ChronoSomnoEEG

Ce travail de thèse utilise des données recueillies au sein de l'étude expérimentale ChronoSomnoEEG (HUS n°6187) qui s'est déroulée au Centre des Troubles du Sommeil-Centre International de Recherche en ChronoSomnologie (CIRCSom) des Hôpitaux Universitaires de Strasbourg de juin 2016 à juin 2019. Le promoteur de l'étude est les Hôpitaux Universitaires de Strasbourg (n° ID RCB : 2014-A00795-42) dans le cadre d'un projet collaboratif avec Alsace Biovalley, financé par subventions de la Collectivité Européenne d'Alsace-Région Grand Est (contrat n°1182/15/C1), de l'Eurométropole de Strasbourg (contrat n° LS 136213) et, à un moindre degré, par un appel à projet de l'association Adiral, Mundolsheim (contrat n° 9ADO/1089).

Le protocole et le format de consentement de l'étude ont été approuvés par un Comité d'éthique (CPP Est IV n°14/29) et par l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (ANSM, n°ID-RCB 2014-A00795-42). Tous les documents étaient en accord avec les bonnes pratiques cliniques selon la Déclaration d'Helsinki. Tous les participants ont donné un consentement éclairé par écrit au moment de l'inclusion et les données collectées ont été protégées selon la Commission nationale de l'informatique et des libertés (CNIL).

Il s'agit d'une étude monocentrique, comparative, contrôlée, parallèle, randomisée et ouverte, ayant pour objectif d'étudier les effets directs de la lumière blanche enrichie en bleu sur le sommeil, l'éveil, l'activité EEG, l'humeur et le niveau de performances cognitives, et ce en fonction des processus homéostasique et circadien. L'étude utilise un protocole chronobiologique de « constante routine » qui consiste en la suppression de tous les facteurs extérieurs pouvant masquer ou influencer l'horloge circadienne, ceci étant possible grâce à l'infrastructure du CIRCSom, dont les chambres de chronobiologie bénéficient d'une isolation phonique et d'un environnement lumineux entièrement contrôlable à distance tout comme la température et

l'hygrométrie ambiante, ainsi que grâce à l'expertise de l'équipe du CIRCSom dans ce domaine. Pour isoler les effets des processus circadien et homéostatique et pour pouvoir les comparer à des groupes contrôles, les sujets ont été répartis par randomisation en 4 différentes conditions expérimentales pendant une période de 40 heures, durant laquelle différentes évaluations sont réalisées (détaillées dans le paragraphe 5 de cette section).

Le déroulé complet de l'étude peut être observé sur la Figure 9 et la session de 56 heures en détails sur la Figure 10. Toutes les trois visites ont eu lieu au Centre des Troubles du Sommeil-CIRCSom et les périodes entre les différentes visites étaient en condition écologique.



Figure 9. Illustration des différentes étapes du protocole (52).

2. Recrutement (Pré-inclusion)

Le recrutement des volontaires sains a été réalisé par des affiches et des annonces dans les différentes structures de l'Université de Strasbourg ainsi que des Hôpitaux Universitaires de Strasbourg. Après avoir évalué les critères non-médicaux au cours d'un entretien téléphonique, le volontaire se voyait présenter une première explication orale du protocole. Il était contacté ensuite par l'investigateur qui réitérait l'information orale et écrite au participant et s'assurait que les premiers critères de non-inclusion étaient absents. Une visite d'une chambre de chronobiologie était organisée pour vérifier que les conditions environnementales ne posaient pas de difficultés potentielles pour le participant.

3. Visite d'inclusion (Visite n°1)

Lors de la visite d'inclusion, le consentement libre et éclairé du sujet était recueilli par écrit. Puis ont été réalisés un examen clinique, un entretien psychologique via la Mini International Neuropsychiatric Interview (MINI) (90) et une autoévaluation réalisée par le sujet via les questionnaires suivants :

- Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) (91) ;
- Short Form (36) Health Survey (SF-36) (92) ;
- Questionnaire de chronotype de Horne et Ostberg ou Morningness Eveningness Questionnaire (MEQ) (74) ;
- Munich Chronotype Questionnaire (MCTQ) (53) ;
- Echelle de somnolence d'Epworth (ESS) (93) ;
- Echelle Subjective de Fatigue de Pichot (94) ;
- Index de sévérité de l'insomnie (ISI) (95) ;
- Inventaire de dépression Beck : BDI-II (96) ;
- Questionnaire de tachypsychie Racing and Crowded Thoughts Questionnaire-trait (RCTQ-trait) (97) ;
- Questionnaire de tempérament TEMPS-A (98).

Une fois que tous les critères d'inclusion ont été confirmés (détaillés dans le paragraphe 6 de cette section), des explications exhaustives étaient fournies au sujet concernant la complétion de l'agenda de sommeil et le port de l'actimètre jusqu'à la prochaine visite, dans le but de garantir l'adhésion à un rythme veille-sommeil régulier pendant une période de deux semaines. Les horaires fixes de coucher et de lever étaient déterminés en collaboration avec le sujet grâce au questionnaire MCTQ, permettant ainsi de réduire les variations de la phase circadienne. Ce questionnaire était également utilisé pour calculer le *Mid-sleep time on free days corrected for sleep debt on work days* (MSFsc) : il s'agit du point médian entre le début du sommeil et le réveil

final d'un sujet les jours de repos ajusté pour la dette de sommeil les jours de travail, utilisé généralement en tant que référence de la phase circadienne et ce particulièrement pour montrer les chronotypes extrêmes (53). Le sujet s'engageait également à s'abstenir de toute consommation de caféine, nicotine ou substances psychotropes pendant toute la durée de l'étude. A l'issue de ces évaluations le sujet était inscrit sur le fichier national des personnes qui se prêtent à la recherche biomédicale (VRB) ainsi que sur les cahiers d'observation électroniques (eCRF).

4. Nuit diagnostique (Visite n°2)

La visite n°2 était réalisée après cette période et comprenait différents bilans pendant une journée et une nuit d'hospitalisation :

- Vérification de la concordance entre agenda du sommeil rempli par le sujet et données recueillies par l'actimétrie ;
- Un bilan biologique sanguin comprenant Numérotation de la formule sanguine (NFS), Plaquettes, Taux de Prothrombine et Temps de Céphaline Activée pour vérifier l'absence de plusieurs critères d'exclusion (détaillés dans la section 6.1) ;
- Un bilan urinaire pour confirmer l'absence de consommation de toxiques (test urinaire multi-drogue THC-COC-MOR-AMP-MDMA) ainsi que l'absence d'altérations urinaires (bandelette urinaire LEU-NUT-URO-PRO-Ph-BLO-Sg-KET-BIL-GLU) ;
- Un examen ophtalmologique pour dépister toute pathologie oculaire ou de la vision ;
- Un enregistrement polysomnographique (vPSG) nocturne avec capteurs électroencéphalographiques (EEG) en montage 10-20, électroculographiques (EOG), électromyographiques (EMG mentonniers et jambiers), électrocardiographiques (ECG), respiratoires (sangle abdominale thoracique, oxymétrie, microphone, canule et thermistance) pour vérifier l'absence d'une éventuelle pathologie du sommeil. Les horaires

de coucher et de lever du sujet pendant la nuit d'hospitalisation étaient les mêmes horaires fixes suivis à domicile pendant la précédente période ;

La nuit d'hospitalisation permettait également d'évaluer l'adaptation du sujet à l'environnement de la chambre de chronobiologie. Après la visite n°2, seulement les sujets qui ne présentaient aucun critère d'exclusion étaient maintenus dans le protocole et par conséquent poursuivaient les mêmes règles de rythmes-veille sommeil et d'abstention de substances ainsi que la complétion de l'agenda de sommeil et le port de l'actimétrie pendant deux semaines ultérieures jusqu'à la session de 56 heures.

5. Session de 56 heures (Visite n°3)

5.1 Protocole

La session de 56 heures se déroulait dans sa totalité à l'intérieur d'une chambre de chronobiologie, qui bénéficiait d'une isolation phonique (bruit extérieur 0 dB), d'un environnement lumineux entièrement contrôlable à distance (lumière administrée par le plafonnier) ainsi que d'une hygrométrie et température constantes (22° C). Cette visite n°3, après vérification de l'absence de critère d'exclusion pendant la précédente étape en condition écologique (avec attention particulière à la concordance entre agenda du sommeil et actimétrie et au respect des consignes), comprenait une nuit de base dans l'obscurité (8 heures, 0 lux) précédée par 7 heures de lumière tamisée (<8 lux), une période de 40 heures en conditions différentes en fonction du groupe du sujet et une nuit de récupération (minimum 8 heures, 0 lux). Les sujets étaient randomisés dans un de ces 4 groupes au début de la session et en était informés à l'arrivée en chambre. Les quatre groupes définissent la condition expérimentale de la période de 40 heures :

- Sleep deprivation (SD) + Dim light (DL) : privation de sommeil et exposition à de la lumière tamisée (<8 lux) ;

- Sleep deprivation (SD) + Blue enriched light (BEL) : privation de sommeil et exposition à une lumière blanche enrichie en bleu (250 lux) ;
- Naps + Dim light (DL) : siestes répétées et exposition à une lumière tamisée (<8 lux) ;
- Naps + Blue enriched light (BEL) : siestes répétées et exposition à une lumière blanche enrichie en bleu (250 lux).

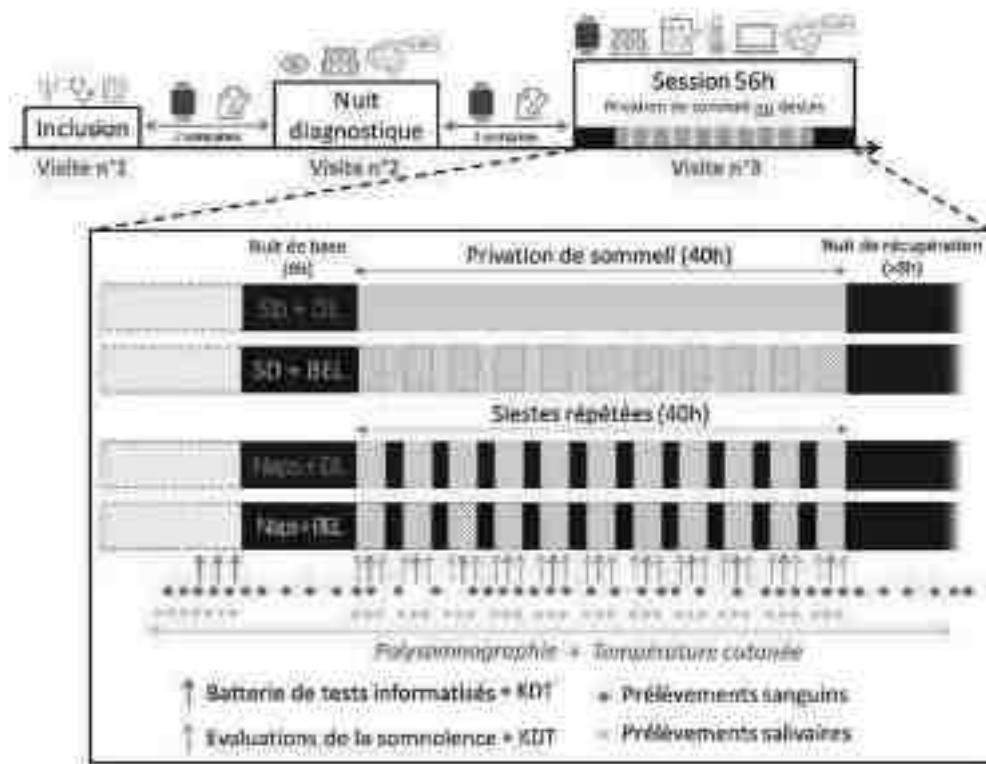


Figure 10 : Déroulé complet de l'étude ChronoSomnoEEG avec la session de 56 heures en détails. Périodes grisées : exposition à la lumière tamisée (<8 lux), périodes hachurées en bleu : exposition à la lumière blanche enrichie en bleu (250 lux) et périodes noires : exposition à l'obscurité totale (0 lux). KDT : Karolinska Drowsiness Tests ; SD + DL : privation de sommeil + lumière tamisée ; SD + BEL : privation de sommeil + lumière blanche enrichie en bleu ; Naps + DL : siestes + lumière tamisée ; Naps + BEL : siestes + lumière blanche enrichie en bleu. (52)

Pendant ces 40 heures tous les sujets étaient dans des conditions de « constante routine » afin d'éviter l'interférence de tout *zeitgeber* : les participants n'avaient aucune référence ou information

précise temporelle, étaient maintenus en position semi-allongée (avec dossier du lit incliné à 45°) avec limitation de l'activité physique aux seuls déplacements pour aller aux toilettes et recevaient des collations isocaloriques toutes les 2 heures.

La période de 40 heures était organisée pour tous les participant en 11 « cycles » d'une durée de 2 heures et 30 minutes chacun avec exposition à une lumière tamisée (pour les groupes DL) ou lumière blanche enrichie en bleu (pour les groupes BEL), séparés par des périodes de 1 heure et 15 minutes de maintien de veille en lumière tamisée pour les groupes SD ou de sieste dans l'obscurité (0 lux) pour les groupes Naps. Les évaluations réalisées au cours de cette période étaient les suivantes (observables également sur la figure 10) :

- Enregistrement EEG tout au long de la période ;
- Enregistrement par actimétrie tout au long de la période ;
- Mesure de la température corporelle grâce à des capteurs de température cutanées (iButtons) tout au long de la période ;
- Karolinska Drowsiness Test (KDT) trois fois par cycle (au début, au milieu et à la fin) (99) ;
- Evaluation de la somnolence subjective à l'aide de la Karolinska Sleepiness Scale (KSS) trois fois par cycle (au début, au milieu et à la fin) (100) ;
- Evaluation de la tachypsychie par le Racing and Crowded Thoughts Questionnaire (RCTQ) une fois par cycle (97) ;
- Une batterie informatisée de tests neurocomportementaux effectuée par les sujets au milieu de chaque cycle. Ces tests étaient : la Paced and Visual Serial Addition Task (PVSAT)(101), le Digit Symbol Substitution Test (DSST)(102), 3 tâches de N-Back (103), la Sustained Attention to Response Task (SART) (104) et la Psychomotor Vigilance Task (PVT) (105).

Pour ce qui concerne les évaluations sur la totalité de la session, des prélèvements biologiques de mélatonine sont réalisés selon le schéma suivant, illustré également sur la figure 10 : 40 prélèvements sanguins par voie veineuse périphérique (avec une perfusion continue de héparine CHOAY à une dose infrathérapeutique de 25000 UI/ 5ml diluée dans un soluté isotonique NaCl 0,9%) et 40 prélèvements salivaires par salivettes (Sarstedt AG & Co. KG, Allemagne) à partir de la nuit de base jusqu'à la fin de la nuit de récupération, selon une fréquence d'échantillonnage d'une heure au cours des soirs et des débuts des nuits subjectives et plus rare sur le reste du temps.

En plus, un enregistrement vidéopolysomnographique (vPSG) est réalisé lors de la nuit de base et de la nuit de récupération pour des analyses comparatives du sommeil entre les deux périodes sur plusieurs paramètres (temps total de sommeil, la durée d'éveil après endormissement, la latence d'endormissement, l'efficacité du sommeil, le pourcentage du temps total de sommeil passé dans chaque stade, la latence des différents stades de sommeil, l'index de micro-éveils et le nombre de changements de stades).

Dans ce manuscrit ils seront détaillés les quatre tests dont les résultats ont été analysés dans le cadre de cette thèse.



Figure 11. Chambre de chronobiologie au CIRCSom avec administration de pulse de lumière blanche enrichie en bleu (BEL) (106).

5.2 KDT

Le Karolinska Drowsiness Test (KDT) prévoit un enregistrement vidéo-électroencéphalographique lorsque le sujet, détendu en position confortable, fixe un cercle noir affiché face à lui pendant 4 minutes yeux ouverts puis pendant 2 minutes yeux fermés. Ce test permet d'évaluer la somnolence objective grâce au rapport de la puissance spectrale de la bande de fréquence thêta (4 – 8 Hz, caractéristique d'un état d'endormissement) divisée par celle de la bande de fréquence alpha (8 – 12 Hz, caractéristique de la veille calme yeux fermés) lors des deux phases du KDT. Ce rapport thêta/alpha est donc connu pour être un marqueur de la somnolence objective (99) et est la variable analysée dans le cadre de ce manuscrit. Ce test peut être utilisé également pour mesurer la pression homéostatique de sommeil cumulée pendant la veille grâce à la puissance spectrale de la bande de fréquence thêta-alpha (6.25 – 9 Hz) (52) (61).

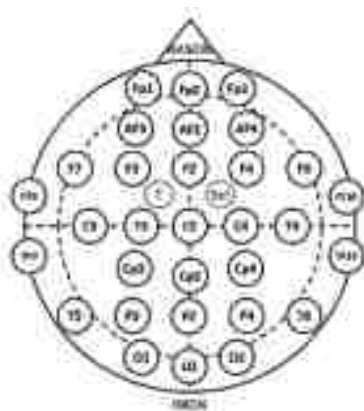


Figure 12. Placement des électrodes pour l'enregistrement électroencéphalographique au cours de la session de 56 heures.

Dans notre protocole, le sujet effectuait le KDT trois fois par cycle (au début, au milieu et à la fin, appelés KDT A, B et C), avec donc une fréquence de toutes les 75 minutes. Notre analyse spectrale a été faite sur la dérivation C3-T6 (et C4-T5 si la C3-T6 était artefactée) via Matlab (R2015b ; The

MathWorks Inc.) avec la bibliothèque de scripts « Chronolux » en séparant les périodes de KDT yeux ouverts et yeux fermés. Préalablement à ces analyses, une élimination visuelle des artefacts, en excluant toute variation d'amplitude supérieure à 4 écarts types par rapport à la moyenne du signal, a été réalisée. Les puissances des bandes alpha (8 – 12 Hz) et thêta (4 – 8 Hz) ont été calculées en faisant la somme des puissances dans ces deux bandes de fréquences. Le rapport thêta/alpha, variable étudiée dans ce manuscrit, a ensuite été obtenu en divisant la puissance spectrale de la bande thêta par celle de la puissance alpha pendant la période « yeux fermés » de chaque KDT.

5.3 KSS

La Karolinska Sleepiness Scale (KSS) est une échelle numérique couramment utilisée dans le cadre des protocoles chronobiologiques permettant d'évaluer la somnolence subjective avec un score compris entre 1, qui correspond au niveau maximal de vigilance, et 9, qui correspond au niveau maximal de somnolence (100). Les sujets devaient compléter la KSS en format papier en début et fin de chaque cycle ainsi qu'en format informatisé au sein de la batterie de tests au milieu de chaque cycle (donc toutes les 75 minutes), appelés KSS A, B et C. La variable analysée dans le cadre de ce test est le score de somnolence.

5.4 PVT

Le Psychomotor Vigilance Task (PVT) est un test qui évalue l'attention soutenue en mesurant la vitesse de réaction à un simple stimulus visuel (105). Le PVT est couramment reconnu assez sensible à la privation de sommeil totale et partielle et à l'influence du processus circadien ainsi qu'à l'amélioration de la vigilance après traitement d'une pathologie du sommeil comme par exemple le syndrome d'apnées obstructives du sommeil (107). Au sein de notre protocole, le test est réalisé au sein de la batterie de tests informatisée, toutes les 3 heures et 45 minutes, et prévoit que pendant 5 minutes le participant clique à chaque fois que le stimulus (représenté par un compteur fixé en principe à 0, le sujet devant agir lorsqu'il commence à compter) se présente. La

fréquence d'apparition des stimuli est aléatoire. Les variables analysées sont le temps de réaction en millisecondes et le nombre de *lapses* (temps de réponse supérieur à 500 ms).

5.5 SART

Le Sustained Attention to Response Task (SART) est un test qui mesure l'attention soutenue et la mémoire de travail (104). Il s'agit d'une tâche « go/no go », où différents stimuli (représentés par des chiffres) apparaissent à l'écran de manière imprévisible et le sujet doit appuyer sur le chiffre correspondant sauf s'il s'agit d'un chiffre particulier qui est « interdit », pour lequel il doit éviter de répondre. Ils existent quatre types de réponses possibles : omission (aucun appui alors qu'un chiffre normal est présenté), fausse alarme (appui alors que le chiffre « interdit » est présente), réponse correcte (appui sur le bon chiffre lorsqu'il est différent du chiffre « interdit ») et rejet correct (aucun appui lorsque le chiffre « interdit » est présenté). La variable analysée dans ce manuscrit est le score de précision (*accuracy score*) constitué de la somme des réponses correctes et des rejets corrects, et qui reflète également le score d'erreur constitué de la somme des omissions et des fausses alarmes.

6. Critères d'inclusion et non-inclusion

6.1 Critères d'inclusion

Pour être inclus dans l'étude, les sujets devaient avoir un âge compris entre 18 et 40 ans, un indice de masse corporelle entre 17 et 30 kg/m² et être en bonne santé sur la base de l'examen clinique, de l'examen psychologique et des bilans sanguins, urinaires et ophtalmologique. Il était nécessaire également qu'ils ne présentent pas de score d'exclusion aux auto-questionnaires lors de la visite d'inclusion (PSQI > 8 ou score d'une composante > 2, SF-36 > 50 sur le score physique et/ou mental, MEQ < 31 et > 69, MCTQ avec un milieu du sommeil corrigé < 02:00 ou > 6:30, ESS et/ou Pichot >11, ISI >15, BDI >11), soient affiliés à un régime de sécurité sociale et aient signé le consentement éclairé. Les sujets étaient tenus d'accepter de maintenir un rythme veille/sommeil fixe et de s'abstenir de caféine, de nicotine, de cannabis, d'alcool ainsi que de toute autre substance

psychotrope pendant toute la durée de l'étude. En plus, ils devaient être en mesure de dormir en chambre de chronobiologie lors d'un enregistrement polysomnographique et ne pas présenter de pathologie du sommeil au susmentionné enregistrement. Enfin, exclusivement pour les femmes, il était requis qu'elles soient sous contraception hormonale depuis au moins 1 mois avant l'inclusion et pendant toute la durée du protocole, dans le but d'exclure les variations dues au cycle menstruel (particulièrement sur les performances cognitives) (108).

6.2 Critères de non-inclusion

Les critères de non-inclusion comprenaient toute maladie d'origine somatique telle que cardiovasculaire, neurologique, respiratoire, endocrinienne, métabolique, gastrointestinale, hématopoïétique, visuelle, infectieuse, génito-urinaire ou du système immunitaire, tout trouble de la coagulation ou prise de traitement non compatible avec l'administration d'héparine, l'allergie au lycra ou au néoprène, et tout trouble au niveau de l'articulation temporo-mandibulaire. Par ailleurs les personnes présentant une dépendance à la caféine, à la nicotine, à l'alcool, aux médicaments psychotropes, au cannabis ou à d'autres drogues, ayant fait un don de sang au cours des 3 mois précédant l'inclusion, étant en période d'exclusion déterminée par une étude antérieure ou en cours, ayant effectué du travail posté au cours de l'année précédant l'inclusion ou un voyage transméri dien de plus de 2 fuseaux horaires dans le mois précédant l'inclusion, ayant des contre-indications à l'utilisation de dispositifs médicaux, étant incapables de fournir des informations éclairées ou sous tutelle, curatelle ou sauvegarde de justice, ainsi que celles en période de grossesse déclarée ou d'allaitement étaient également exclues au moment de l'inclusion.

7. Analyses statistiques

Les analyses statistiques comportent une phase descriptive. Les variables quantitatives sont décrites par leur moyenne et écart-type (la normalité de la distribution a été vérifiée selon le test de Shapiro-Wilk). Des représentations graphiques adaptées ont été réalisées au besoin. Les

analyses statistiques comportent ensuite une phase inférentielle. L'analyse de l'évolution des variables prises en compte dans cette thèse (rapport θ/α pour le KDT, score de somnolence pour le KSS, temps de réaction et *lapses* pour la PVT, score de précision pour la SART) au cours du temps a été réalisée grâce à un modèle de régression linéaire multivariée mixte (à mesures répétées) sur le logiciel *Jamovi* (109). Deux variables ont été considérées comme facteurs indépendants : la condition lumineuse (DL vs. BEL) et la pression homéostatique de sommeil (SD vs. Naps). Deux facteurs d'interaction de premier niveau ont été spécifiés (Condition lumineuse x temps, pression homéostatique x temps). Des ANOVAs pour mesures répétées ont été réalisées pour chaque variable sur le groupe contrôle Naps + DL afin d'isoler le facteur « temps » considéré en tant qu'effet du processus circadien en l'absence de pression de sommeil et de synchroniseurs extérieurs. Le seuil de significativité est de 0,05 pour toutes les analyses. Les tendances (p entre 0,095 et 0,06) ont également été prises en compte. Pour le test KDT, le rapport θ/α a été corrigé pour chaque individu en fonction de la moyenne de ses valeurs aux tests KDT1A, 1B et 1C, en raison de la variabilité inter-individuelle du profil électroencéphalographique des sujets. Afin d'évaluer la robustesse des résultats, des analyses de sensibilité ont été réalisées en modélisant les différentes variables quantitatives d'intérêt par des régressions linéaires multivariées mixtes, selon des modalités similaires aux analyses détaillées ci-dessous, mais en regroupant les temps de mesures individuels en 6 périodes temporelles : Référence (cycles 1-2-3), Soir (cycles 4-5), Nuit (cycles 6-7), Lendemain jour (cycles 8-9-10), Lendemain soir (cycle 11). Les résultats ont été présentés par les coefficients de régression et intervalles de confiance à 95% associés à chaque variable. En raison de problèmes techniques au cours du déroulement de ce test, les résultats d'un sujet au sein du groupe Naps + DL au test PVT n'ont pas été pris en compte et les analyses du PVT ont été réalisées sur 63 sujets.

8. Rôle et implication dans les démarches de recherche

Je me suis confronté avec l'étude ChronoSomnoEEG lors des stages de mon internant en médecine du travail effectués au sein du Centre des Troubles du Sommeil-CIRCSom des Hôpitaux Universitaires de Strasbourg de novembre 2021 à novembre 2022, dans le cadre de ma Formation Transversale Spécialisée (FST) en médecine du sommeil. Au cours de cette période, j'ai participé à la gestion du protocole de l'étude expérimentale LumEnColor (HUS N°8076) dont le promoteur est également les Hôpitaux Universitaires de Strasbourg (N° ID RCB: 2020-A03277-32), projet retenu dans le cadre de l'appel à projet de recherche environnement, travail et santé (APR EST) 2020 de l'ANSES.

LumEnColor, qui a démarré en décembre 2021 au Centre des Troubles du Sommeil, constitue le successeur du protocole ChronoSomnoEEG : son but est d'évaluer les effets d'autres spectres de couleurs de la lumière (blanc enrichi en rouge, blanc enrichi en vert, blanc polychromatique) grâce à l'infrastructure unique du CIRCSom. LumEnColor utilise exactement les mêmes protocoles et méthodologies avec lesquels ChronoSomnoEEG a été réalisé, ce pour avoir un recueil de données similaires pour une vision globale des effets de la lumière sur le sommeil, l'éveil, l'humeur et les performances cognitives en fonction des processus homéostatique et circadien. La concordance entre les deux protocoles est observable sur la Figure 13.

Mes rôles ont été multiples, intervenant sur chaque étape de l'étude, toujours en collaboration et coordination avec l'équipe paramédicale, les étudiants et chercheurs de l'équipe de recherche et les médecins investigateurs.

Lors du recrutement, j'ai participé aux entretiens téléphoniques, avec un premier dépistage des critères de non-inclusion médicaux et non médicaux, et j'ai participé à la coordination temporelle des différentes visites à programmer.

J'ai effectué régulièrement les examens cliniques et la vérification des critères à la visite d'inclusion, ainsi que par intermittence l'information complète du sujet, la vérification des

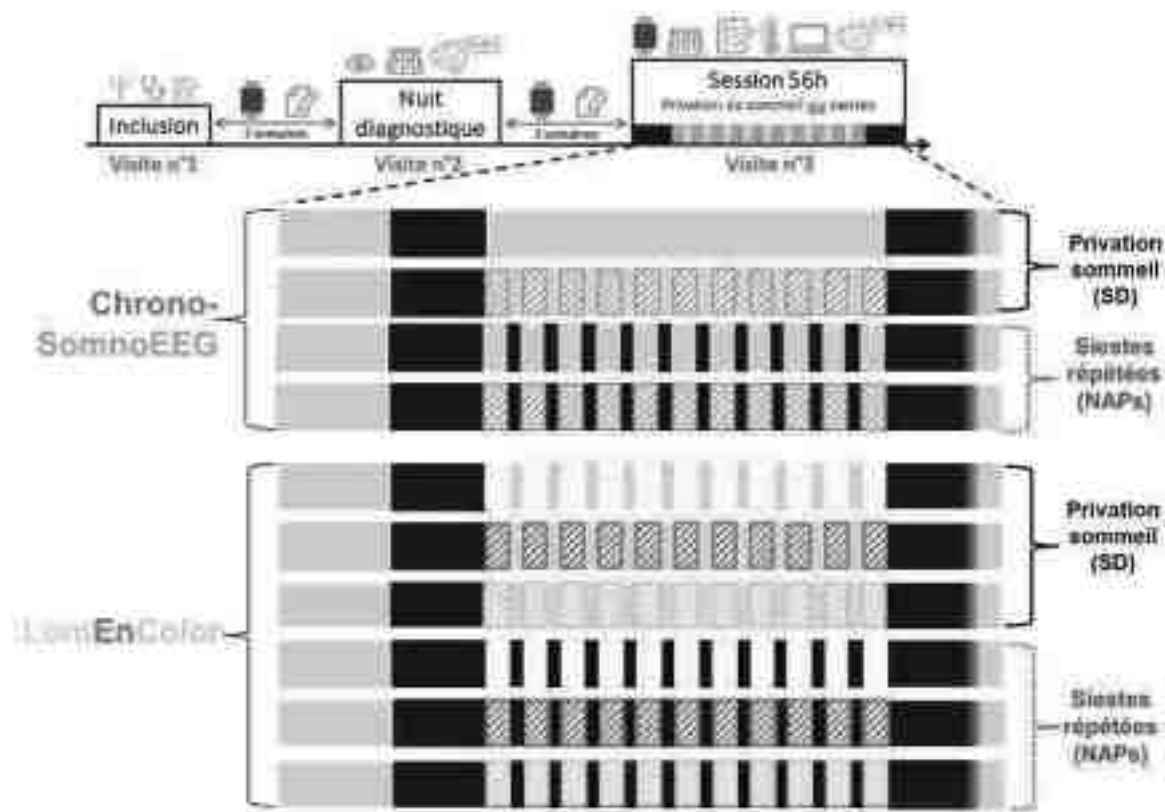


Figure 13. Comparaison entre les deux protocoles ChronoSomnoEEG et LumEnColor. Périodes grisées : exposition à la lumière tamisée ; périodes blanches : exposition à la lumière blanche polychromatique ; périodes hachurées en rouge : exposition à la lumière blanche enrichie en rouge ; périodes hachurées en vert : exposition à la lumière blanche enrichie en vert ; périodes noires : exposition à l'obscurité totale.

signatures du consentement éclairé et l'examen psychologique par la MINI. Je fixais également en collaboration avec les sujets et à l'aide du questionnaire MCTQ les horaires réguliers de coucher et lever à respecter pendant toute la durée de l'étude. Au moment de la nuit diagnostique, je vérifiais la concordance des données de l'actimétrie et de l'agenda du sommeil ainsi que les critères de non-inclusion pour tout ce qui concernait les rythmes veille-sommeil et les analyses biologiques (sanguines et urinaires) et polysomnographiques, ces dernières après un premier scoring effectué par l'équipe paramédicale. En tant qu'interne en médecine, j'étais chargé également du suivi médical de l'hospitalisation.

Au cours de la session de 56 heures, après avoir vérifié la concordance entre actimétrie et agenda du sommeil et le respect des consignes, j'effectuais la randomisation (après accord d'un médecin investigateur) et la communication du groupe au sujet. Je réalisais avec le sujet les entraînements à la batterie des tests informatisés et comme pour la précédente étape j'assurais le suivi médical tout au long de l'hospitalisation.

De façon plus transversale entre les différentes étapes de l'étude, j'ai participé à la rédaction des documents mis à disposition de l'équipe soignante, j'effectuais les communications écrites aux médecins traitants des sujets concernant leurs inclusions et fin de participation à l'étude et je remplissais les parties médicales et cliniques des cahiers d'observation électroniques (eCRF) sur lesquels je rapportais également l'éventuelle survenue d'effets indésirables.

La méthodologie étant la même pour les deux études et au vu de ma connaissance pratique du protocole ainsi que l'intérêt de cette recherche clinique pour ma spécialité médicale de DES, j'ai choisi comme sujet de ma thèse de docteur en médecine l'analyse et l'interprétation des données des tests de l'étude ChronoSomnoEEG tels que le KDT, le KSS, le PVT et le SART.

Résultats

1. Description de l'échantillon

92 sujets ont été inclus lors de la visite d'inclusion, 82 sujets ont participé à la nuit diagnostique, 68 sujets ont finalement été randomisés pour la session de 56 heures. Les analyses au sein de ce travail de thèse ont été réalisées sur les 64 sujets, avec une répartition de 16 sujets par groupe dont 8 hommes et 8 femmes, qui ont achevé l'étude. Les raisons des exclusions sont détaillées sur le diagramme de flux présenté en Figure 14. La plupart était due à l'abandon spontané de la part des participants ou au diagnostic d'une pathologie du sommeil ou de paramètres de sommeil non physiologiques lors de l'enregistrement polysomnographique lors de la nuit diagnostique.

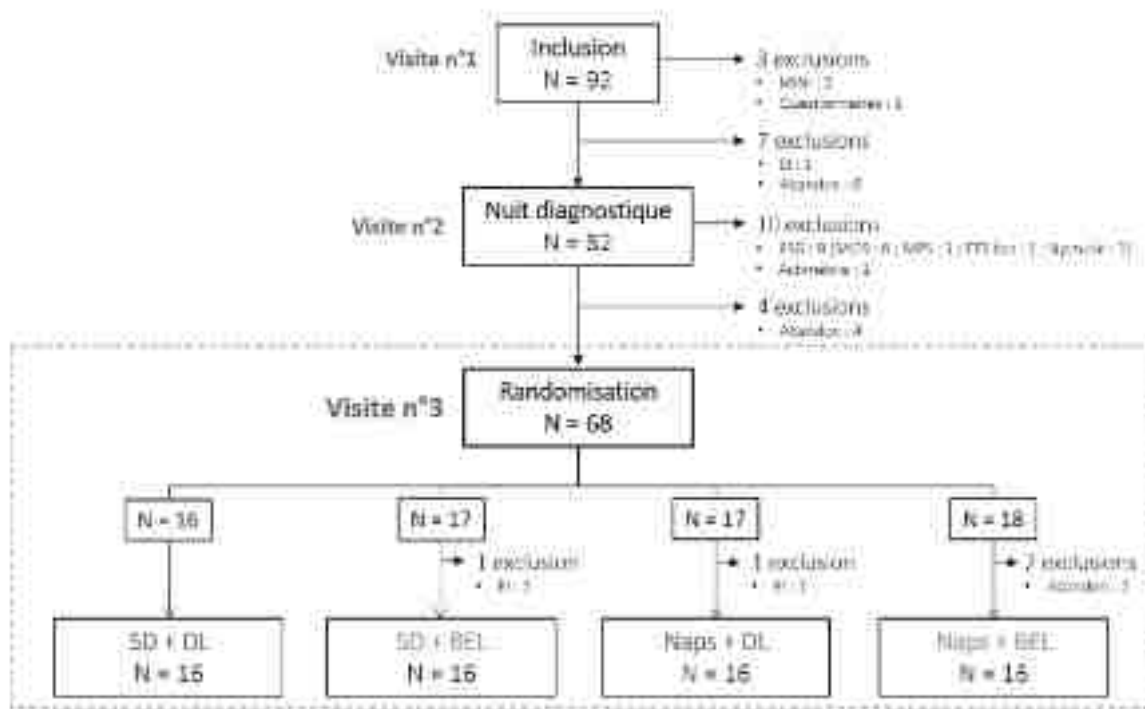


Figure 14. Diagramme de flux de la population de l'étude ChronoSomnoEEG. MINI : Mini International Neuropsychiatric Interview ; EI : Evènement indésirable ; PSG : Polysomnographie ; SAOS : Syndrome d'apnée obstructive du sommeil ; MPS : Mouvements périodiques du sommeil ; TTS : Temps total de sommeil ; SD + DL : privation de sommeil + lumière tamisée ; SD + BEL : privation de sommeil + lumière blanche enrichie en bleu ; Naps + DL : siestes répétées + lumière tamisée ; Naps + BEL : siestes répétées + lumière blanche enrichie en bleu. (52)

Le Tableau 1 illustre les caractéristiques de la population finale étudiée. Les sujets étaient âgés en moyenne de $23,4 \pm 3,8$ ans (moyenne \pm erreur type) et avait un index de masse corporelle de $22,0 \pm 2,6$ kg/m². Concernant le rythme veille-sommeil, l'horaire de coucher moyen était de $23:24 \pm 00:44$ et celui de lever de $07:24 (\pm 00:43)$. Le score moyen de chronotype des sujets était de $55,9 \pm 7,6$ et le milieu du sommeil corrigé se situait à $04:05 \pm 00:37$.

	SD + DL	SD + BEL	Naps + DL	Naps + BEL	Total
Age	22,5 (\pm 2,4)	24,3 (\pm 4,9)	23,8 (\pm 3,1)	22,9 (\pm 4,4)	23,4 (\pm 3,8)
IMC (kg/m ²)	21,3 (\pm 3,0)	22,0 (\pm 2,4)	22,6 (\pm 3,0)	21,9 (\pm 1,9)	22,0 (\pm 2,6)
Light off	23:14 (\pm 00:48)	23:23 (\pm 00:57)	23:37 (\pm 00:29)	23:22 (\pm 00:35)	23:24 (\pm 00:44)
Light on	07:14 (\pm 00:48)	07:23 (\pm 00:57)	07:37 (\pm 00:29)	07:22 (\pm 00:35)	07:24 (\pm 00:43)
Score MEQ	55,9 (\pm 9,4)	55,7 (\pm 7,3)	55,3 (\pm 7,8)	56,8 (\pm 6,3)	55,9 (\pm 7,6)
MSFsc MCTQ	04:01 (\pm 00:32)	04:12 (\pm 00:46)	04:09 (\pm 00:32)	04:01 (\pm 00:41)	04:05 (\pm 00:37)

Tableau 1. Caractéristiques de l'échantillon par groupe et dans sa totalité. IMC : indice de masse corporelle. Light off et light on : heure d'allumage et d'extinction des lumières lors de la session de 56 heures. MEQ : Morningness Eveningness Questionnaire. MSFsc : milieu du sommeil corrigé. MCTQ : Munich Chronotype Questionnaire. SD + DL : privation de sommeil + lumière tamisée ; SD + BEL : privation de sommeil + lumière blanche enrichie en bleu ; Naps + DL : siestes répétées + lumière tamisée ; Naps + BEL : siestes répétées + lumière blanche enrichie en bleu.

2. Somnolence objective

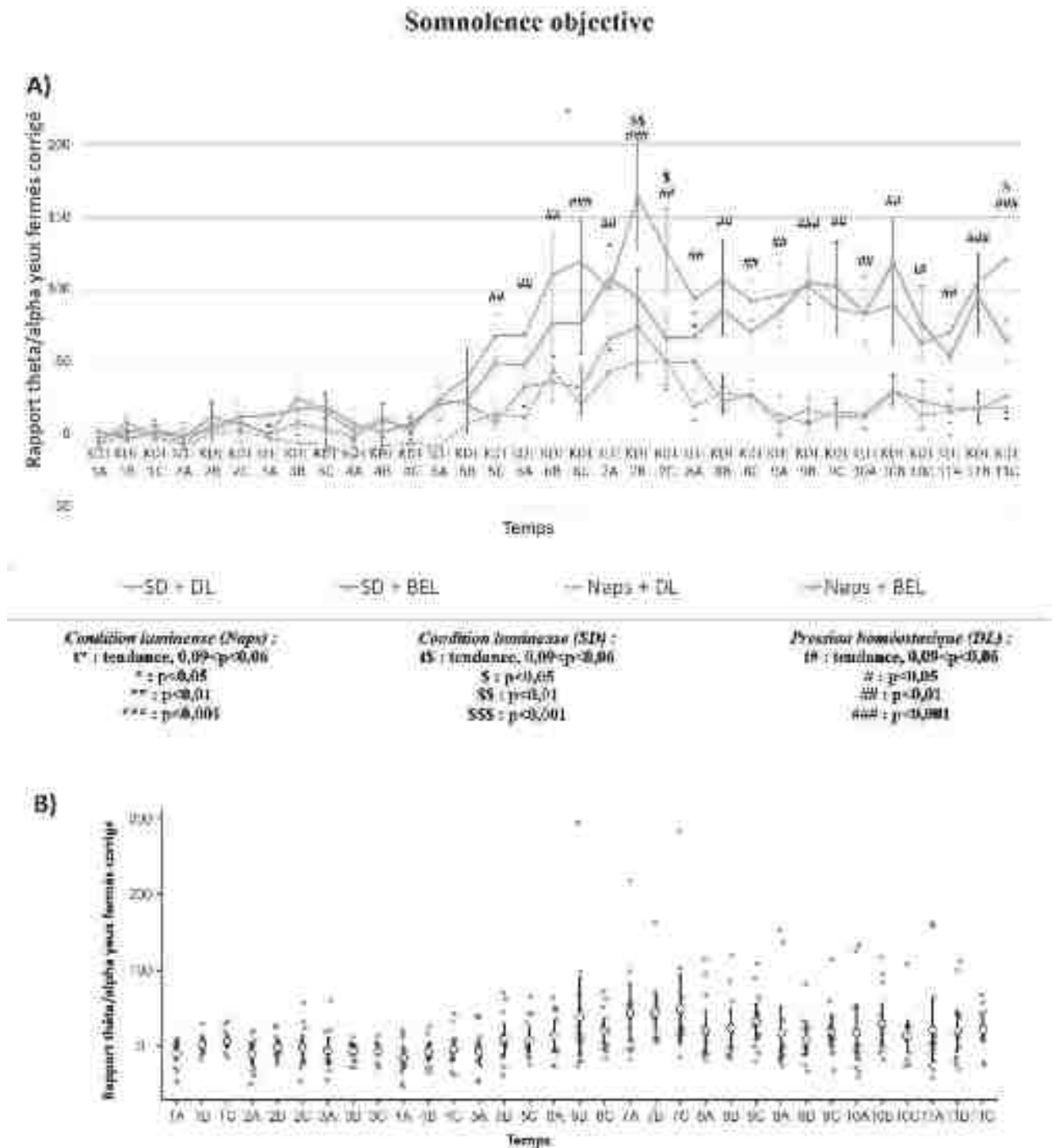


Figure 15. Analyse de la somnolence objective sur la période de 40 heures : représentation graphique des moyennes et des écarts-type. A) Analyse sur les 4 groupes par modèle mixte. SD : privation de sommeil ; Naps : siestes répétées ; DL : lumière tamisée ; BEL : lumière enrichie en bleu ; B) Analyse du facteur « temps » par ANOVA pour mesures répétée sur le groupe Naps + DL ; nA, nB, nC : tests réalisés au début, au milieu et à la fin de chaque cycle, toutes les 75 minutes, dont les horaires sont présentés en annexe.

Les moyennes et écart-types des valeurs pour chaque groupe sont représentées graphiquement sur la Figure 15. Les analyses statistiques sont présentées en annexe. L'analyse par modèle mixte retrouve un effet significatif du facteur « condition lumineuse » chez les groupes en privation de sommeil aux tests 7B et 7C (qui correspondent environ à 07:00 et 08:15 et donc suite à une veille continue de 24 et 25 heures) et au test 11C (environ 23:00 de la deuxième journée), et aucun effet significatif du facteur « condition lumineuse » chez les groupes en siestes répétées. Une différence significative au niveau du facteur « pression homéostatique de sommeil » chez les groupes exposés à la lumière tamisée est retrouvée à partir du test 5C, ce qui correspond à 17 heures passées éveillé, et persiste pour tous les autres tests qui suivent.

L'analyse par ANOVA pour mesures répétées sur le groupe en siestes répétées exposé à la lumière tamisée ne met pas en évidence de significativité nette au niveau du facteur « temps ». Une augmentation des moyennes des valeurs ainsi qu'une majeure dispersion des données sont observables du test 5B au test 8A, ce qui correspond à une période comprise environ entre 03:00 et 09:30, suivies d'un retour aux valeurs de base sur les tests suivants.

3. Somnolence subjective

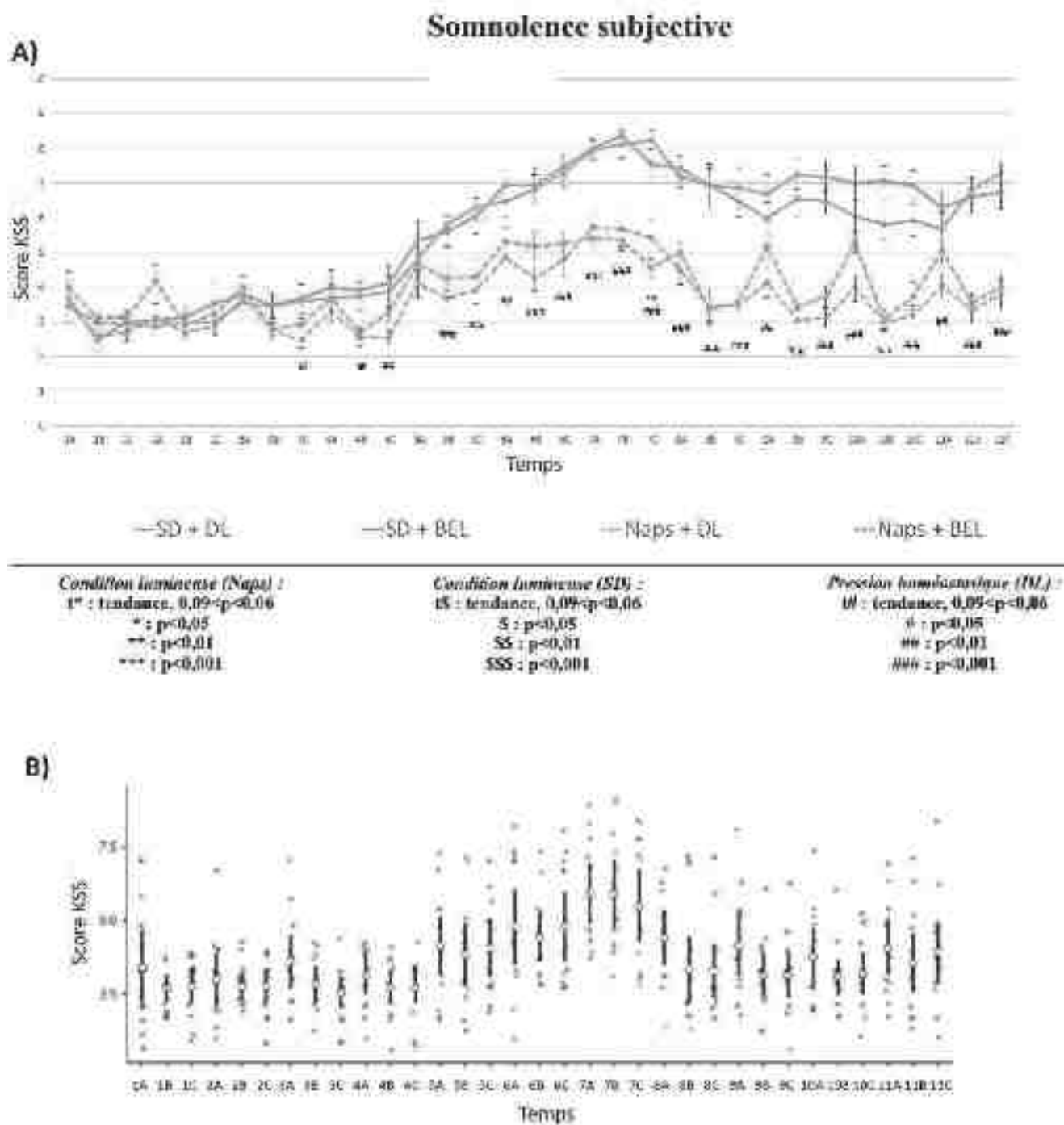


Figure 16. Analyse de la somnolence subjective sur la période de 40 heures : représentation graphique des moyennes et des écarts-type. A) Analyse sur les 4 groupes par modèle mixte. SD : privation de sommeil ; Naps : siestes répétées ; DL : lumière tamisée ; BEL : lumière enrichie en bleu ; B) Analyse du facteur « temps » par ANOVA pour mesures répétées sur le groupe Naps + DL. ; nA, nB, nC : tets réalisés au début, au milieu et à la fin de chaque cycle, toutes les 75 minutes, dont les horaires sont présentés en annexe.

Les moyennes et écart-types des valeurs pour chaque groupe sont représentées graphiquement sur la Figure 16. Les analyses statistiques sont présentées en annexe. L'analyse par modèle mixte retrouve un effet significatif du facteur « condition lumineuse » chez les groupes en siestes répétées au test 7C, ce qui correspond à 08:15, et aucun effet significatif du facteur « condition lumineuse » chez les groupes en privation de sommeil. Une significativité du facteur « pression homéostasique de sommeil » chez les groupes exposés à la lumière tamisée est mise en évidence au test 4C (environ 14 heures passées éveillés) et ensuite à partir du test 5C, ce qui correspond à 17 heures de veille continue, et persiste pour tous les autres tests successifs.

L'analyse par ANOVA pour mesures répétées sur le groupe en siestes répétées exposé à la lumière tamisée ne met pas en évidence de significativité nette au niveau du facteur « temps ». Une augmentation des valeurs est observable du test 5A au test 7C, ce qui correspond à une période comprise environ entre 22.00 et 08:15, suivie d'un retour aux valeurs de base sur les tests suivants.

4. Attention soutenue et mémoire de travail

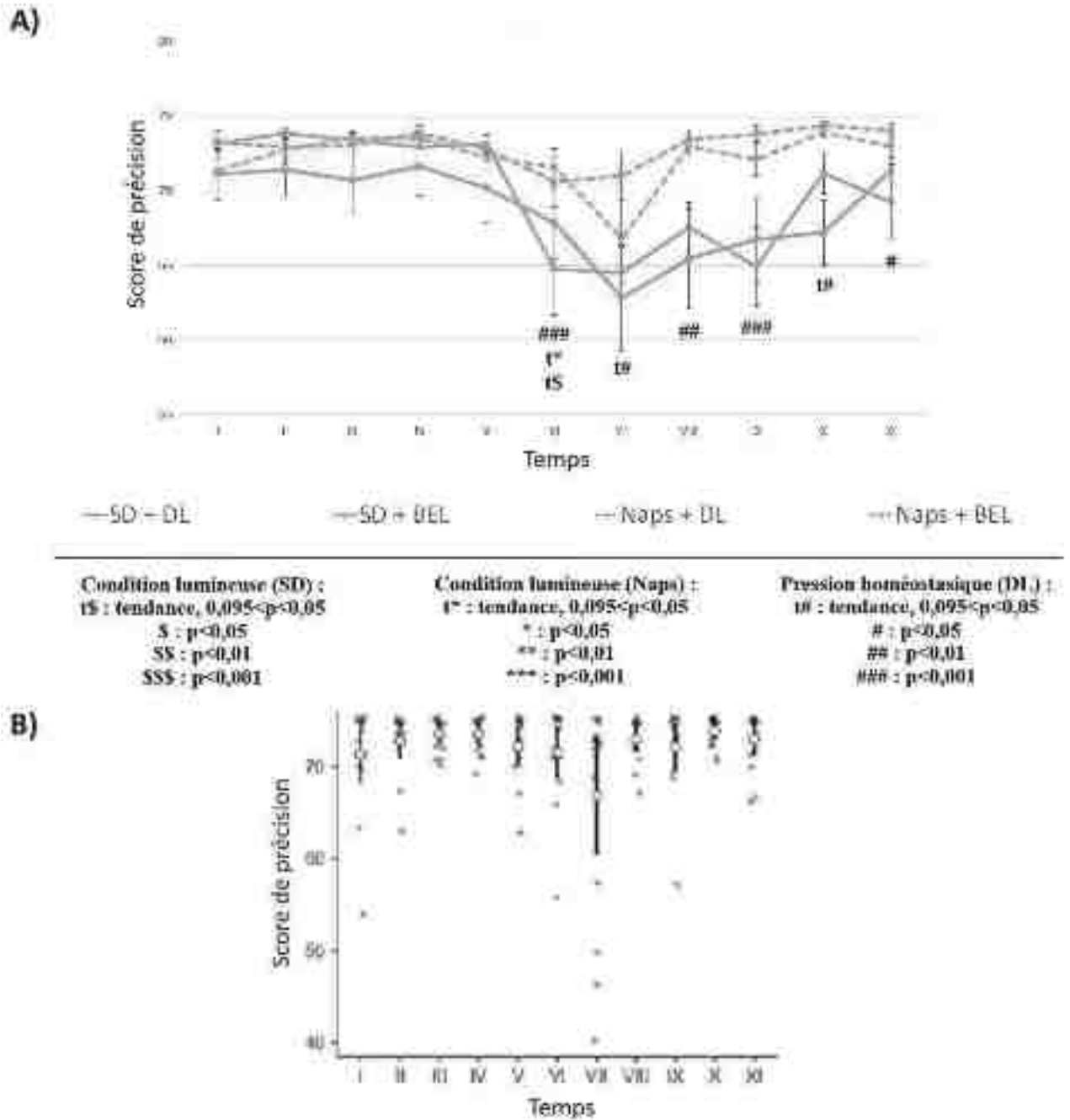
Performances (SART)

Figure 17. Analyse du score de précision sur la période de 40 heures : représentation graphique des moyennes et des écarts-type. A) Analyse sur les 4 groupe par modèle mixte. SD : privation de sommeil ; Naps : siestes répétées ; DL : lumière tamisée ; BEL : lumière enrichie en bleu ; B) Analyse du facteur « temps » par ANOVA pour mesures répétées sur le groupe Naps + DL. ; I, II... : tests réalisés au milieu de chaque cycle, toutes les 225 minutes, dont les horaires sont présentés en annexe.

Les moyennes et écart-types des valeurs pour chaque groupe sont représentées graphiquement sur la Figure 17. Les analyses statistiques sont présentées en annexe. L'analyse par modèle mixte ne met pas en évidence de significativité du facteur « condition lumineuse » ni chez les groupes en siestes répétées ni chez ceux en privation de sommeil. Néanmoins une tendance (non significatif) d'amélioration est retrouvée pour les deux facteurs au test 6, qui correspond environ à 03:00 (et à 20 heures passées éveillés pour le groupe en privation de sommeil). Le facteur « pression homéostasique de sommeil » chez les groupes exposés à la lumière tamisée est fortement significatif au susmentionné test 6 (donc après 20 heures de veille continue) et reste significatif globalement à tous les tests qui suivent, hormis les tests 7 et 10 où une tendance est retrouvée.

L'analyse par ANOVA pour mesures répétées sur le groupe en siestes répétées exposé à la lumière tamisée ne met pas en évidence de significativité nette au niveau du facteur « temps ». Une dégradation des moyennes des valeurs ainsi qu'une majeure dispersion des données sont observables sur le test 7, ce qui correspond environ à 07:00, suivies d'un retour aux valeurs de base sur les tests suivants.

5. Attention soutenue et temps de réaction

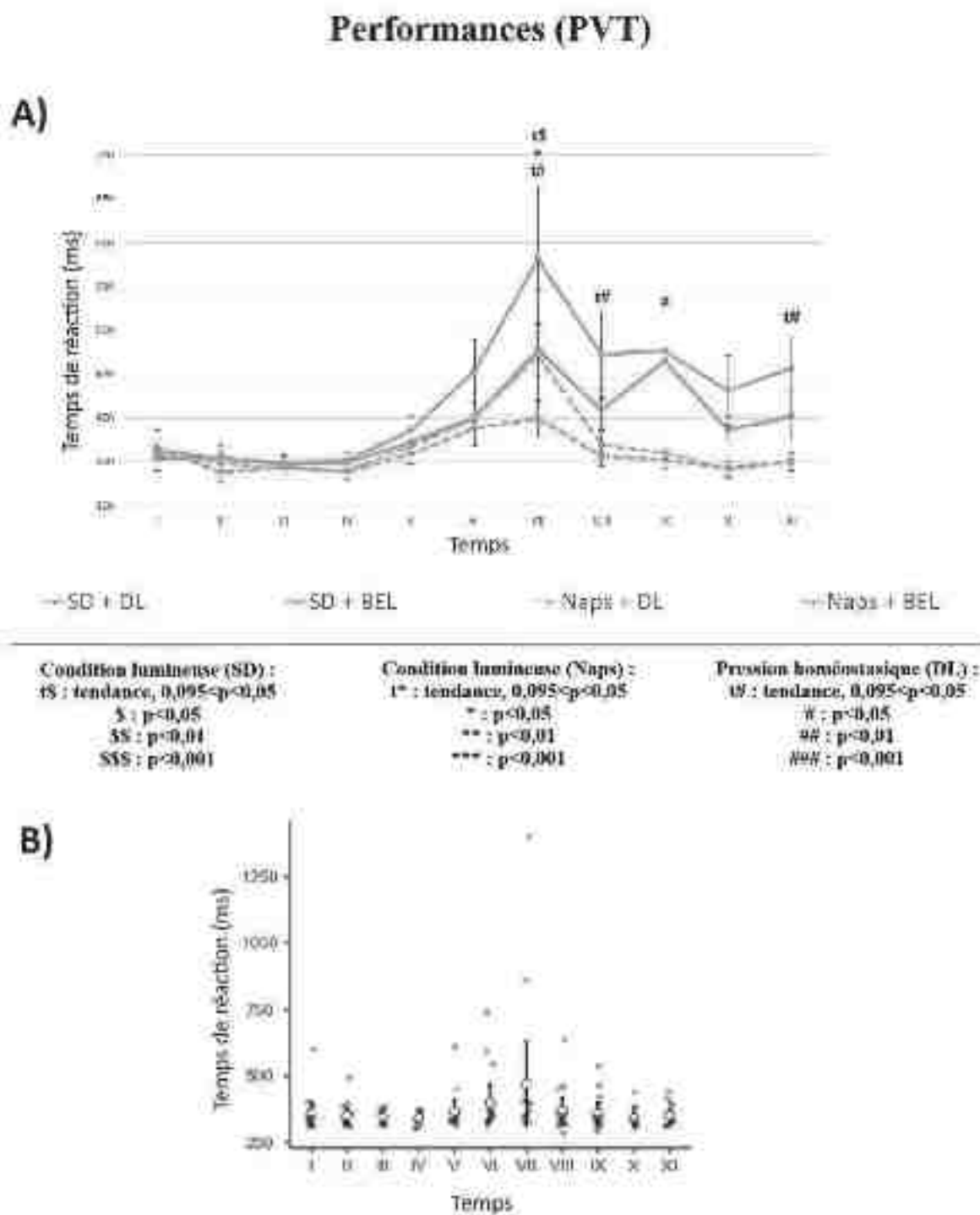


Figure 18. Analyse du temps de réaction en millisecondes sur la période de 40 heures : représentation graphique des moyennes et des écarts-type. A) Analyse sur les 4 groupe par modèle mixte. SD : privation de sommeil ; Naps : siestes répétées ; DL : lumière tamisée ; BEL : lumière enrichie en bleu ; B) Analyse du facteur « temps » par ANOVA pour mesures répétées sur le groupe Naps + DL ; I, II... : tests réalisés au milieu de chaque cycle, toutes les 225 minutes, dont les horaires sont présentés en annexe.

Les moyennes et écart-types des valeurs pour chaque groupe sont représentées graphiquement sur la Figure 18. Les analyses statistiques sont présentées en annexe. L'analyse par modèle mixte retrouve un effet significatif du facteur « condition lumineuse » chez les groupes en siestes répétées au test 7, ce qui correspond environ à 07:00. Nous n'observons pas d'effet significatif du facteur « condition lumineuse » chez le groupe en privation sur toute la période ; une tendance (non significatif) de réduction du temps de réaction est retrouvée au susmentionné test 7 (après 24 heures passées éveillés). Une significativité de l'effet dû au facteur « pression homéostatique de sommeil » chez les groupes exposés à la lumière tamisée est observée au test 9, ce qui correspond à 31 heures passées éveillé, mais une tendance de dégradation est déjà présente aux tests 7 et 8, et est retrouvée ensuite au test 11 (respectivement 24, 28 et 38 heures passés éveillé).

L'analyse par ANOVA pour mesures répétées sur le groupe en siestes répétées exposé à la lumière tamisée ne met pas en évidence de significativité nette au niveau du facteur « temps ». Une dégradation des moyennes des valeurs et une majeure dispersion des données sont observables sur le test 7, ce qui correspond environ à 07:00, suivies d'un retour aux valeurs de base sur les tests suivants.

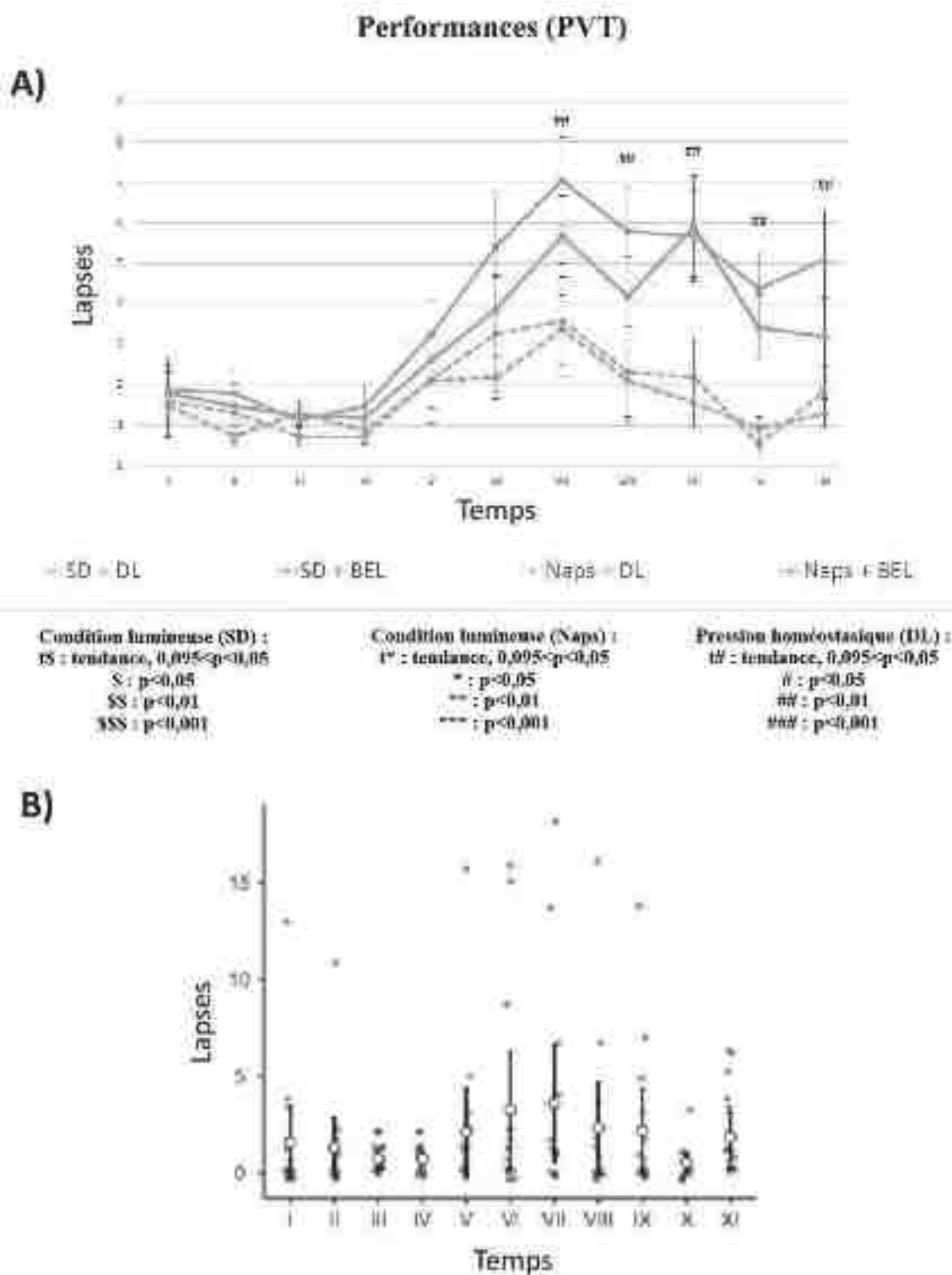


Figure 19. Analyse du nombre de lapses sur la période de 40 heures : représentation graphique des moyennes et des écarts-type. A) Analyse sur les 4 groupe par modèle mixte. SD : privation de sommeil ; Naps : siestes répétées ; DL : lumière tamisée ; BEL : lumière enrichie en bleu ; B) Analyse du facteur « temps » par ANOVA pour mesures répétées sur le groupe Naps + DL. ; I, II... : tests réalisés au milieu de chaque cycle, toutes les 225 minutes, dont les horaires sont présentés en annexe.

Les moyennes et écart-types des valeurs pour chaque groupe sont représentées graphiquement sur la Figure 19. Les analyses statistiques sont présentées en annexe. L'analyse par modèle mixte ne retrouve pas d'effet significatif du facteur « condition lumineuse » ni chez les groupes en siestes répétées ni chez le groupe en privation de sommeil. Sur le plan du facteur « pression homéostasique de sommeil » chez les groupes exposés à la lumière tamisée, un effet significatif est observable à partir du test 7, ce qui correspond à 24 heures passées éveillé, et persiste pour tous les tests successifs.

L'analyse par ANOVA pour mesures répétées sur le groupe en siestes répétées exposé à la lumière tamisée ne met pas en évidence de significativité nette au niveau du facteur « temps ». Une dégradation des valeurs et une majeure dispersion des données sont observables sur les tests 6 et 7, qui correspondent environ à 03:00 et 07:00, suivies d'un retour aux valeurs de base sur les tests suivants.

6. Analyses de sensibilité

Les analyses de sensibilité ont consisté en un regroupement des périodes temporelles. De ce fait une quantité majeure de données était à disposition pour chaque période temporelle, ce qui pourrait altérer la sensibilité du modèle statistique.

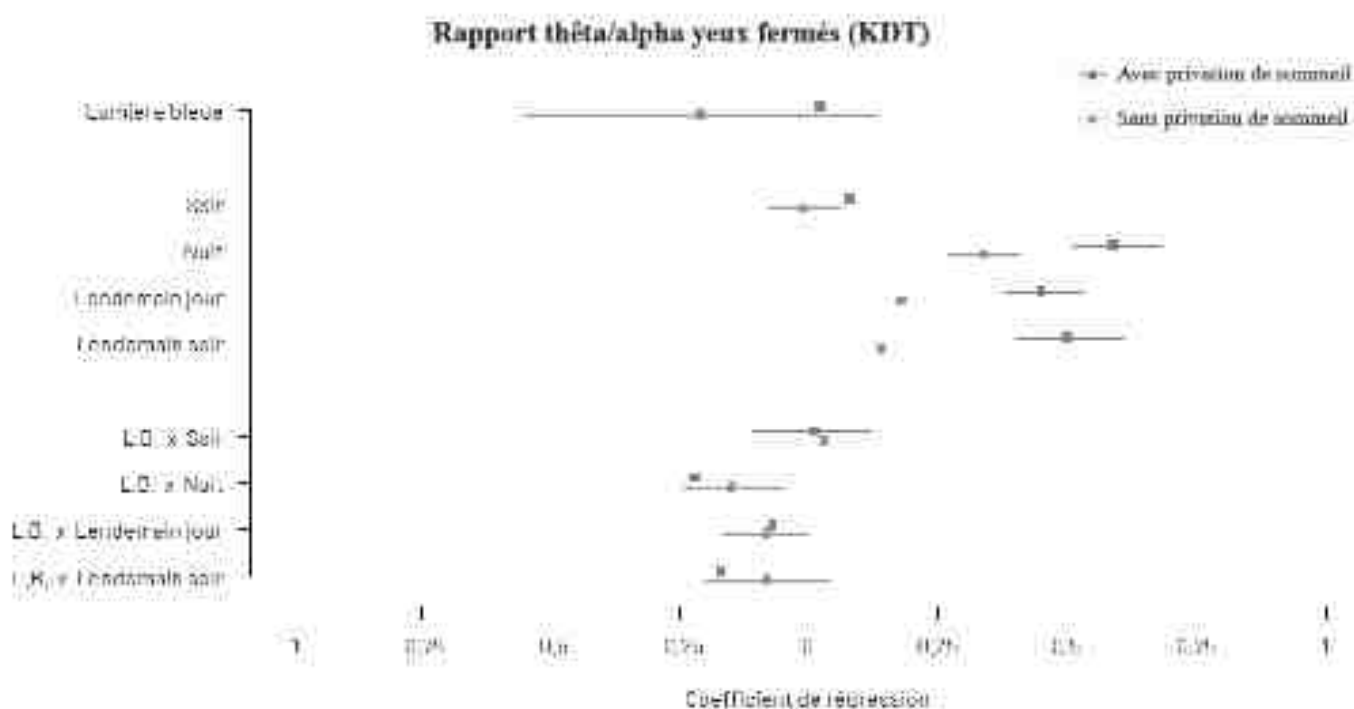


Figure 20. Analyses de sensibilité sur le rapport thêta/alpha yeux fermé au KDT. Rouge : sujets en privation de sommeil ; Bleu : sujets en siestes répétées ; L.B. Lumière bleue.

Les analyses de sensibilité sur le rapport thêta/alpha yeux fermés retrouvent une augmentation globale des valeurs la nuit pour tous les sujets de l'étude ainsi que la deuxième journée, et cet effet est notamment plus marqué chez les sujets en privation de sommeil. Nous observons un effet de la lumière bleue au cours de la période nocturne qui apparait plus marqué chez les sujets en privation, chez lesquels un effet est retrouvé également en fin de deuxième journée.

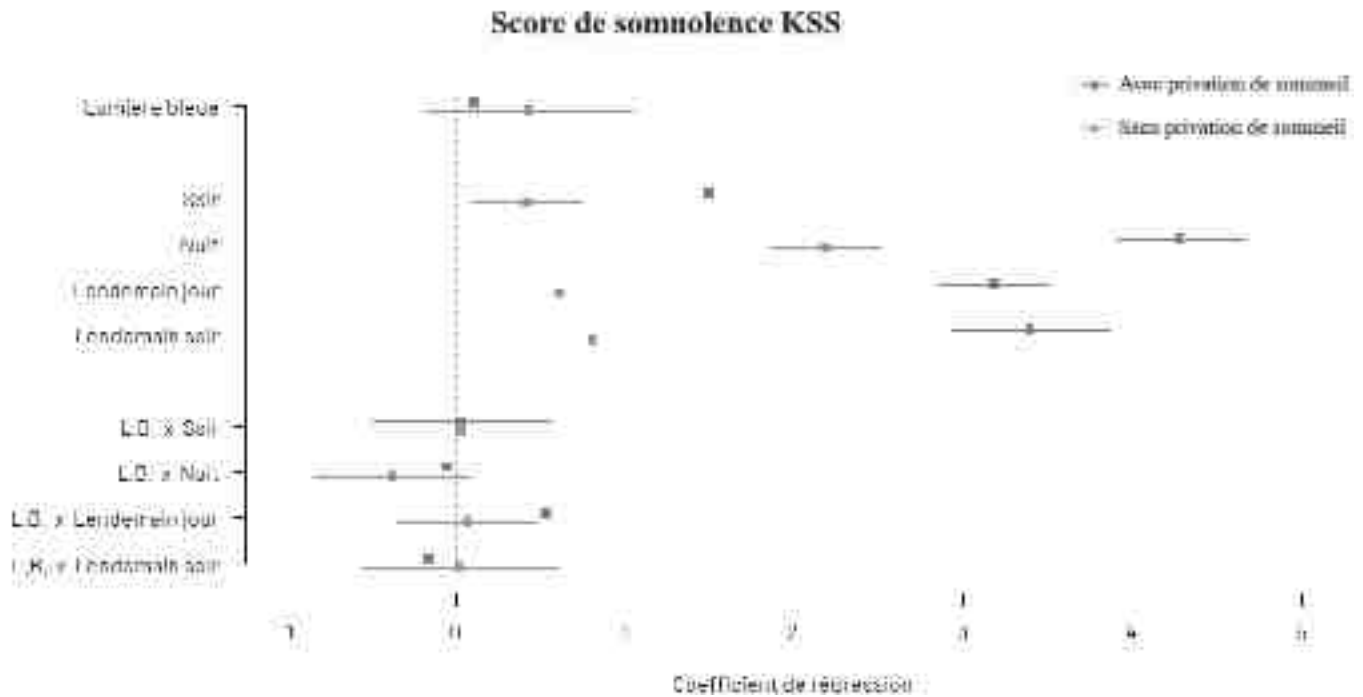


Figure 21. Analyses de sensibilité sur le score de somnolence au KSS. Rouge : sujets en privation de sommeil ; Bleu : sujets en siestes répétées ; L.B. Lumière bleue.

Les analyses de sensibilité sur le score de somnolence au KSS ont retrouvé une augmentation globale des valeurs la nuit pour tous les sujets de l'étude ainsi que la deuxième journée, et cet effet est notamment plus marqué chez les sujets en privation de sommeil. Nous observons un effet de la lumière bleue la deuxième journée chez les sujets en privation.

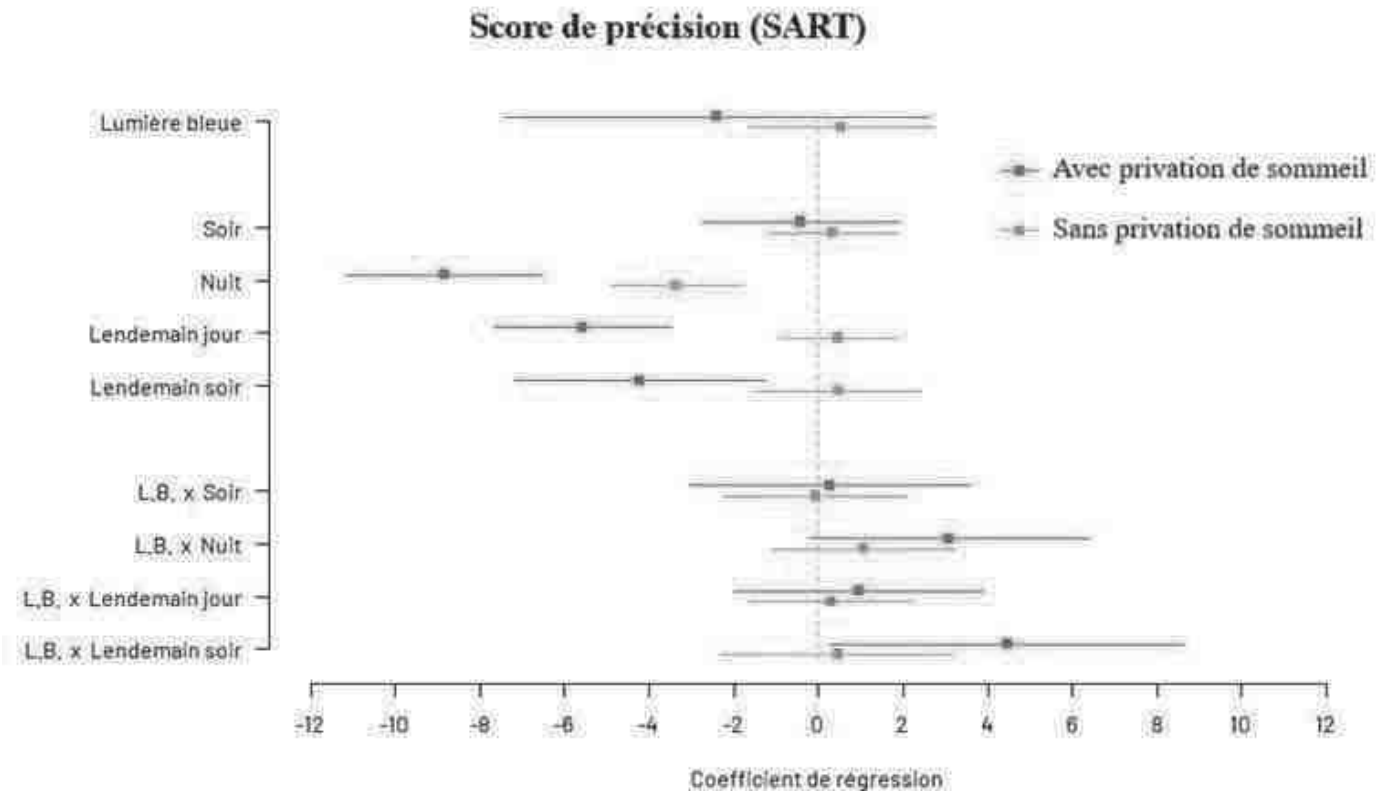


Figure 22. Analyses de sensibilité sur le score de précision au SART. Rouge : sujets en privation de sommeil ; Bleu : sujets en siestes répétées ; L.B. Lumière bleue.

Les analyses de sensibilité sur le score de précision au SART retrouvent une dégradation globale des valeurs la nuit pour tous les sujets de l'étude, et cet effet est notamment plus marqué chez les sujets en privation de sommeil. Nous observons un effet de la lumière bleue au cours de la période nocturne et en fin de deuxième journée exclusivement chez les sujets en privation.

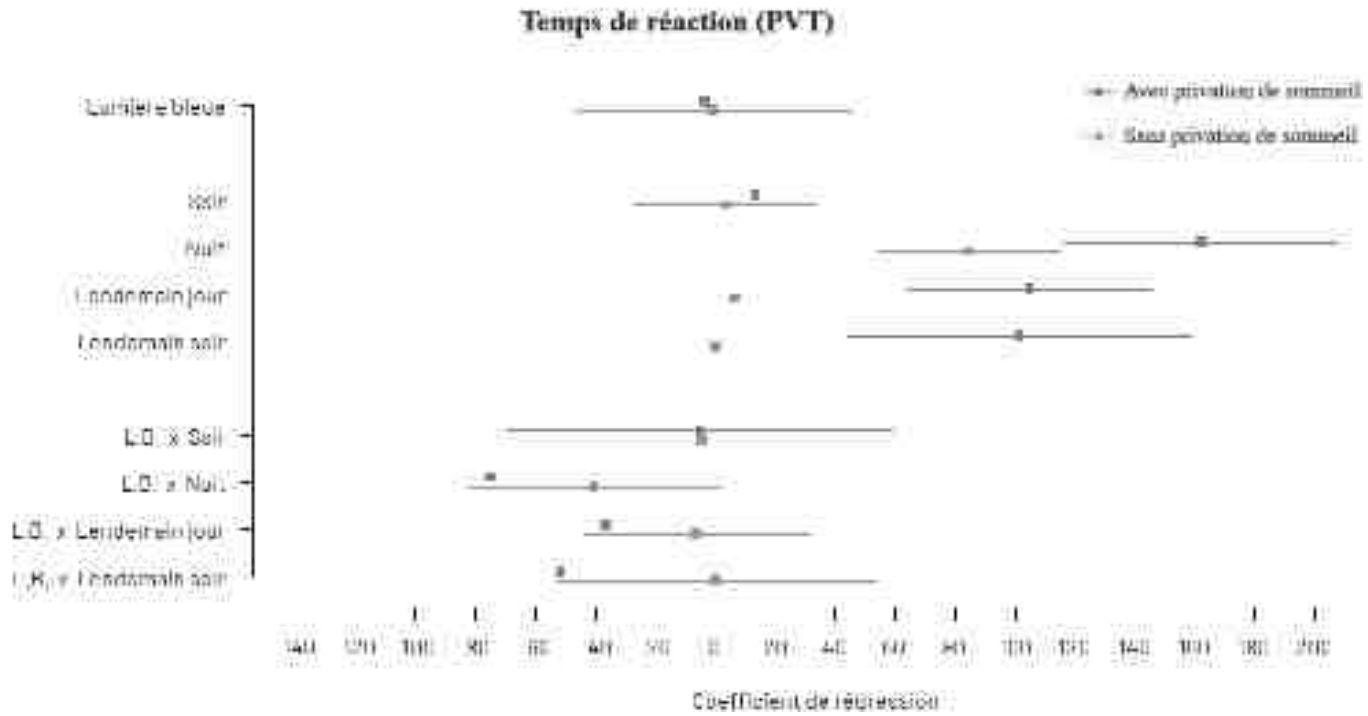


Figure 23 ; Analyses de sensibilité sur le temps de réaction au PVT. Rouge : sujets en privation de sommeil ; Bleu : sujets en siestes répétées ; L.B. Lumière bleue.

Les analyses de sensibilité sur le temps de réaction au PVT retrouvent une dégradation globale des valeurs la nuit pour tous les sujets de l'étude et cet effet est plus marqué chez les sujets en privation de sommeil, chez lesquels il persiste aussi au cours de la deuxième journée. Nous observons un effet de la lumière bleue au cours de la période nocturne qui apparait plus marqué chez les sujets en privation.

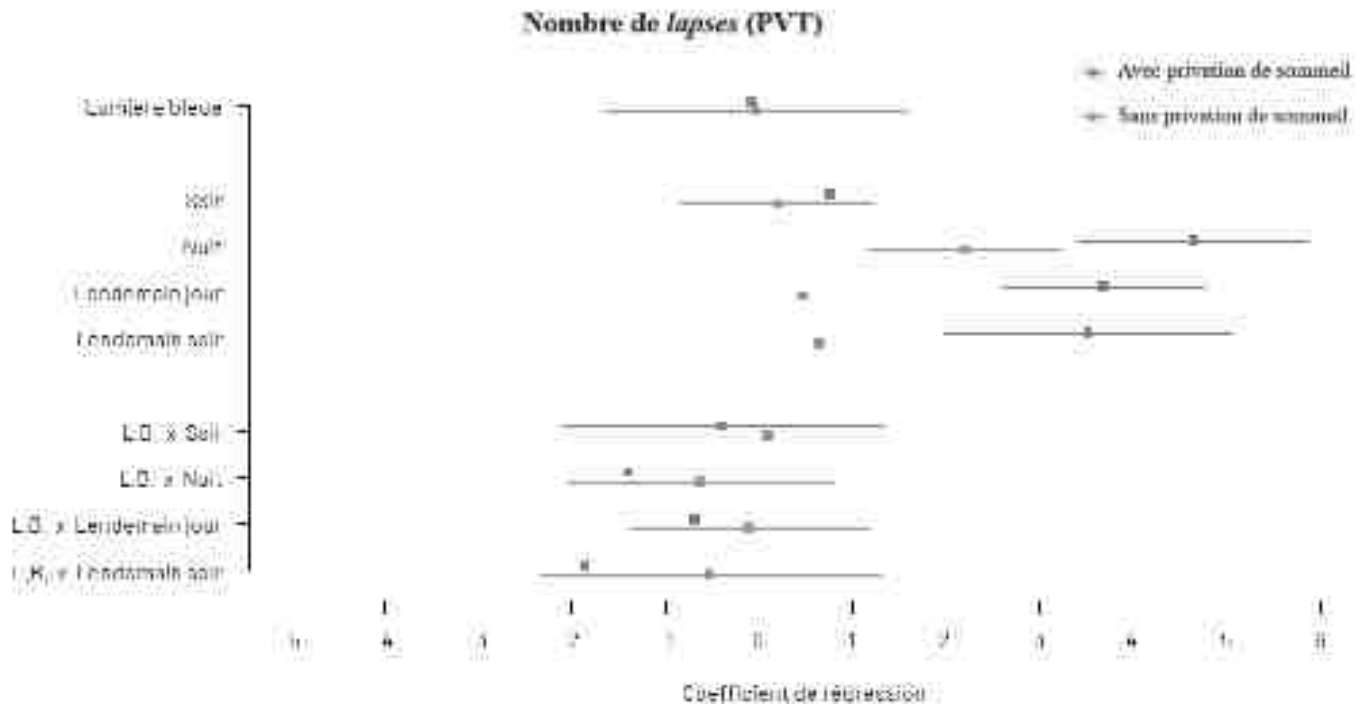


Figure 24. Analyses de sensibilité sur le nombre de lapses au PVT. Rouge : sujets en privation de sommeil ; Bleu : sujets en siestes répétées ; L.B. Lumière bleue.

Les analyses de sensibilité sur le nombre de *lapses* retrouvent une augmentation globale des valeurs la nuit pour tous les sujets de l'étude et cet effet est plus marqué chez les sujets en privation de sommeil, chez lesquels il persiste aussi au cours de la deuxième journée. Nous n'observons aucun effet de la lumière bleue.

Globalement nous observons une concordance des analyses des données, quel qu'il soit le modèle statistique utilisé.

Discussion

1. Discussion des résultats

La conception de l'étude prévoit quatre conditions expérimentales différentes dues à la combinaison de deux conditions chronobiologiques (privation de sommeil de 40 heures ou siestes répétées sur une période de 40 heures) et de deux conditions d'exposition lumineuse (cycles de lumière blanche enrichie en bleu ou cycle de lumière tamisée « inactive »). Par conséquent elle permet d'isoler et analyser trois différents types d'effets sur les variables analysées en fonction des conditions prises en compte : l'effet de la pression homéostatique de sommeil cumulée lors des 40 heures passées éveillée lors de la comparaison des deux groupes en lumière tamisée, l'effet du processus circadien endogène au cours de la période de 40 heures, qui correspond sur le plan des rythmes biologiques endogènes à un jour subjectif, une nuit subjectif et une deuxième journée, sur le groupe en siestes répétées et lumière inactive ; les effets directs de la lumière au cours de la période de 40 heures en l'absence de privation de sommeil (lors de la comparaison des deux groupes en siestes répétées) et en présence de celle-ci (en comparant les deux groupes en privation de sommeil).

La condition expérimentale de siestes multiples en lumière tamisée (Naps + DL) permet d'isoler et analyser l'effet du processus circadien endogène grâce à la réalisation de siestes de façon répétée tout au long de la période de 40 heures, ce qui permet de maintenir un niveau de pression homéostatique faible, et au contrôle des *zeitgebers* de l'horloge biologique. L'analyse des données de cette condition expérimentale a mis en évidence une modulation circadienne de la somnolence objective et subjective, de l'attention soutenue, de la mémoire de travail et du temps de réaction. La nuit subjective du nycthémère, qui correspond aux cycles 6 et 7, est associée à une dégradation moyenne globale des performances cognitives et à une augmentation de la somnolence qui atteignent leur pic à une période entre la fin de nuit subjective et le petit matin, ce qui correspond

à la période critique de moindre vigilance et moindre performance cognitive sur le plan circadien. La journée qui suit est caractérisée par un retour aux valeurs de base. Cette modulation est expliquée par l'influence du signal circadien émanant de l'horloge biologique qui favorise l'éveil et des bonnes performances cognitives au cours de la journée, notamment en fin de journée, tandis qu'elle promeut le sommeil et des moins bonnes performances au cours de la nuit, notamment en fin de nuit. Malgré cette modulation circadienne des valeurs, l'effet « temps » ne s'est pas révélé significatif au sein des analyses réalisées, ce probablement du fait de la dispersion importante des données recueillies. En particulier nous observons pour l'ensemble de variables analysées (hormis la somnolence subjective) une plus importante dispersion des données au cours de la période nocturne, avec d'une part des sujets qui restent à des niveaux similaires aux valeurs de base, et d'autre part des sujets qui présentent une nette augmentation ou dégradation des valeurs (en fonction de la variable analysée) : ceci pourrait indiquer une sensibilité différente vis-à-vis des effets du processus circadien propre à chaque individu.

La condition expérimentale de privation de sommeil en lumière tamisée (SD + DL) permet de décrire les effets de l'accumulation de pression homéostasique de sommeil tout au long d'une période de veille continue de 40 heures, en conjonction avec les effets circadiens issus de l'horloge biologique. Une augmentation notable de la somnolence objective (à partir de 17 heures passées éveillé), de la somnolence subjective (à partir de 14 heures passées éveillé) et une dégradation marquée de l'attention soutenue, de la mémoire de travail et du temps de réaction sont visibles au cours de la nuit subjective avec un pic entre fin de nuit et petit matin, en raison de l'effet additif et synergique du processus circadien qui favorise le sommeil et des moins bonnes performances durant cette période du nyctémère. Au lieu d'une augmentation exponentielle, les valeurs s'améliorent modérément au cours de la journée suivante malgré une accumulation continue de pression de sommeil en raison de l'effet du signal circadien qui en journée contrebalance les effets de la privation en favorisant l'éveil. A noter que la durée moyenne de veille quotidienne d'un individu en condition écologique est d'environ 16-17 heures et peut la dépasser lors d'un temps

de sommeil trop court en raison des contraintes extérieures. Ces résultats mettent en évidence la raison pour laquelle un sujet en privation de sommeil, comme un travailleur de nuit n'ayant pas dormi pendant la période de jour précédente, est particulièrement affecté pendant la période de nuit, en particulier en fin de nuit.

La condition expérimentale de siestes multiples en lumière enrichie en bleu (Naps + BEL) permet d'isoler les effets photiques directs et de les analyser en fonction du moment circadien d'administration au cours de la période de 40 heures, en l'absence de pression homéostatique de sommeil qui est maintenue basse par les siestes. Nous observons une réduction significative du temps de réaction et de la somnolence subjective, ainsi qu'une tendance (non significatif) à une amélioration de l'attention soutenue et de la mémoire de travail, à un période se situant entre la fin de nuit et le petit matin, ce qui chez nos sujets correspond à la période critique de moindre vigilance et moindre performances cognitives.

La condition expérimentale de privation de sommeil en lumière enrichie en bleu (SD + BEL) permet d'analyser les effets directs de la lumière bleue en fonction du moment de la journée et du niveau de pression homéostatique de sommeil cumulée au cours des 40 heures passées éveillé : l'analyse des résultats met en évidence des effets bénéfiques qui surviennent exclusivement au cours de la période critique entre la fin de nuit et le petit matin. La lumière bleue ainsi chez nos sujets, suite à une privation de sommeil équivalente à un jour et une nuit consécutive, diminue nettement la somnolence objective et montre une tendance (non significatif) à améliorer l'attention soutenue, la mémoire de travail et le temps de réaction.

Les résultats obtenus sur les effets de la lumière bleue sont globalement en accord avec la littérature scientifique sur le sujet. Les études précédentes retrouvaient une amélioration de la vigilance associée à une diminution de la somnolence objective (évaluées par différents paramètres tels que rapport de puissance spectrale thêta/alpha, enregistrement d'activité EEG en continu, test de maintien de l'éveil, etc...) et des performances cognitives (évaluées le plus souvent par le PVT)

lors de la nuit subjective (14) (17) (16) (18) (32) (89). Notre équipe avait également mis en évidence auparavant des bénéfices sur la somnolence subjective et le temps de réaction au petit matin après une privation du sommeil complète (22). Au sujet de la somnolence subjective, il est à noter également la discordance entre la somnolence objective et subjective et comment celles-ci réagissent différemment au stimulus lumineux. Par ailleurs cette discordance entre la perception de la somnolence objective et subjective que nous avons retrouvée dans notre étude avait été antérieurement décrite (31). L'absence d'effet significatif de l'exposition lumineuse en journée sur les variables analysées est également en accord avec la littérature en suivant la courbe de réponse de phase de la vigilance à la lumière, qui prévoit une sensibilité sur les heures avant et après le nadir circadien (13) (21) (20). Dans nos résultats la privation de sommeil équivalente à un jour et une nuit passés éveillé a montré au cours de la nuit subjective les effets néfastes sur l'éveil et les performances cognitives pour lesquels elle est largement connue (64) (65) (66), et nous pouvons observer également l'effet synergique du creux circadien en fin de nuit. Globalement la lumière bleue semble capable de contrebalancer la fragilité de l'éveil et des fonctions cognitives, qui caractérise la nuit subjective et particulièrement la période critique entre la fin de nuit et le petit matin, due au signal circadien issu de l'horloge biologique. Il semblerait également que, lorsqu'elle le sujet est privé de sommeil pour ce qui correspond à un jour et une nuit passés éveillé, les effets de la pression homéostatique de sommeil cumulée au cours de ce temps soient plus puissants que les effets photiques pour ce qui concerne les performances cognitives et la somnolence subjective (qui ne sont nettement améliorés qu'en absence de pression homéostatique de sommeil) tandis que la somnolence objective en semble bénéficier davantage. Nos résultats valident donc les hypothèses émises dans le cadre de ce travail.

2. Pistes de réflexion en santé au travail

Les résultats issus de notre travail soulèvent des pistes de réflexion pour la prévention de certains risques professionnels. L'une des situations professionnelles s'approchant le plus à nos conditions expérimentales de privation de sommeil prolongée est celle des travailleurs de journée effectuant en suite immédiate une garde ou une astreinte. Par conséquent une indication pourrait être questionnée pour les médecins soumis au service de gardes, les cadres, les électriciens de maintenance, le personnel de secours routier, les responsables informatiques de banques, les agents de la police ou d'autres forces de l'ordre. Des situations qui pourraient également en bénéficier sont les contextes avec des horaires de travail variables d'un jour à l'autre ou avec un roulement sur différents postes (matin, soir, nuit) pour palier des absences. Les bénéfices attendus se situeraient au niveau des performances en fin de poste vis-à-vis du risque d'accident du travail ou d'accident de trajet. Des études ont mis en évidence des résultats globalement encourageants, par exemple une amélioration de la vigilance des travailleurs postés entre 03:00 et 07:00 évaluée par des tests de maintien d'éveil de 20 minutes après exposition à une lumière de forte intensité (32) et une réduction significative du taux d'accidents de la voie publique chez des sujets privés de sommeil exposés pendant 40 minutes à une lumière de forte intensité en fin de nuit avant la conduite automobile (33). Ces effets bénéfiques d'une exposition lumineuse pourraient également palier des contraintes parfois fortes sur le plan de la charge mentale, comme les procédures diagnostiques et thérapeutiques aux urgences médicales, et améliorer en général les performances en fin de poste : une étude récente menée chez des infirmiers exposés à une lumière de forte intensité pendant 40 minutes avant le poste de nuit a retrouvé une réduction des erreurs de 67% (35).

Les travailleurs de nuit et postés constituent un cas à part. Les conditions expérimentales de siestes répétées sont difficilement comparables à ces catégories professionnelles en raison de la privation de sommeil chronique, ou dette de sommeil, à laquelle ils sont généralement soumis (5). Par

ailleurs le travail posté peut se présenter sous forme de systèmes d'organisations différents, tels qu'en discontinu (généralement 2 postes de 8 heures, matin et soir, avec interruption le weekend), en semi-continu (généralement 3 postes de 8 heures, matin, soir et nuit, avec interruption le weekend) et en continu (généralement 5 équipes travaillant 8 heures sur postes du matin, du soir et de nuit, mais des autres configurations sont possibles, sans interruption), qui engendrent des nécessités et des adaptations différentes. En raison des contraintes nocturnes sur des périodes prolongées, ces catégories de travailleurs pourraient être sujettes à deux différents risques en cas d'exposition lumineuse en fin de poste : le risque de perturbation des rythmes circadiens et celui de développer des troubles du sommeil. Une évaluation sur la balance risque/bénéfice se révèle donc nécessaire dans cette situation. Les analyses complémentaires effectuées sur des autres paramètres au sein de l'étude ChronoSomnoEEG (résultats non présentés dans ce manuscrit) permettent d'apporter des arguments en faveur vis-à-vis de cette réflexion (52).

Concernant le risque d'un décalage de phase sur le plan circadien, qui est normalement attendu après exposition lumineuse dans les heures précédant le nadir du rythme circadien de la température centrale, dans nos résultats nous n'avons pas observé de modification de la phase circadienne après exposition aux *pulses* répétées de lumière, le seul paramètre affecté étant le début de sécrétion de mélatonine. Ceci peut probablement être expliqué par l'administration de lumière tout au long de la journée, avec un effet à la fois d'avance et de retard de phase sur l'horloge biologique qui se traduit par l'absence d'effet (110) (111).

Pour ce qui concerne le risque de développer des troubles du sommeil suite à l'exposition lumineuse en fin de poste (moment qui précède généralement le coucher lors d'un poste de nuit), les recommandations actuelles suggèrent de limiter l'administration de lumière en fin de poste pour stimuler le sommeil (6) (37). En effet la lumière est largement connue pour retarder l'endormissement et dégrader la qualité du sommeil lors d'une exposition avant le coucher ou pendant la nuit (6) (75). Néanmoins, dans nos résultats complémentaires les effets de la privation

de sommeil sur le sommeil de récupération semblent plus forts que les effets photiques : aucun effet délétère de la lumière bleue sur le sommeil de récupération n'a été observée sur le groupe en privation de sommeil exposé à la lumière active en comparaison au groupe contrôle, hormis un retard du début de sécrétion de mélatonine qui était inhibée par l'exposition lumineuse lors du cycle précédant le sommeil de récupération.

Les résultats de notre étude sur les effets de la lumière sont donc innovateurs et possèdent aussi une application théorique aux situations des travailleurs de nuits et postés qui sont sujets généralement à une privation de sommeil chronique qui pourrait bénéficier des effets bénéfiques sur le plan cognitif et de la vigilance sans conséquences directes sur leur sommeil ou leurs rythmes circadiens.

3. Forces et limites

ChronoSomnoEEG est à notre connaissance le premier protocole qui porte sur l'analyse des effets de la lumière, et en particulier de la lumière bleue, en fonction des processus homéostatique et circadien, grâce à une conception originale avec des conditions contrôlées qui permettent d'étudier cette interaction entre effets photiques directs d'une part et moment circadien et niveau de privation de sommeil d'autre part. Les données en lumière tamisée peuvent être utilisées en tant que données contrôles pour des études ultérieures avec la même conception, ce qui sera le cas pour LumEnColor. Les résultats que nous avons recueillis sont robustes, comme confirmé par les analyses de sensibilité réalisées selon des modalités différentes. L'infrastructure unique et l'expertise spécialisée de l'équipe du CIRCSom ont permis la réalisation de ce protocole de constante routine avec des évaluations multiples de différente nature, en mettant en évidence la transdisciplinarité due au regroupement de deux structures : le Centre des Troubles du Sommeil au sein de l'hôpital et le laboratoire de recherche à l'Institut de Neurosciences Cellulaires et Intégratives. Notre étude suit l'axe de recommandations de l'ANSES et de la SFST concernant la

recherche scientifique ultérieure à mener sur le sujet de l'exposition lumineuse des travailleurs de nuit et postés, ainsi que d'approfondir les connaissances sur les effets sanitaires de la lumière en fonction des parties différentes de son spectre (2) (6) (37).

La limite principale de l'étude est constituée par un biais de sélection, nos critères d'inclusion et de non-inclusion étant très stricts. En particulier, des catégories physiologiques de population telles que les personnes âgées de plus de 40 ans et les personnes ayant des chronotypes extrêmes ne sont pas représentées ainsi que les femmes sans une contraception hormonale en cours ou les sujets amenés à travailler à des horaires atypiques ou à des voyages transmériidiens réguliers. Par ailleurs les sujets pris en compte dans l'étude n'ont pas de pathologie significative. Toutes ces considérations limitent la généralisabilité de ces résultats à l'ensemble de la population, notamment des travailleurs. Par conséquent l'étude n'est pas complètement représentative de la population générale. Sur le plan de la santé au travail, en plus des critères d'inclusion et non-inclusion assez stricts qui excluent une partie de la population professionnellement active, l'étude a été réalisée dans des conditions expérimentales très contrôlées tant au niveau de l'environnement qu'au niveau de l'individu (activités à réaliser, charge mentale), par conséquent ne correspond pas à une situation réelle de travail nocturne, au sein de laquelle il faut également prendre en compte les facteurs professionnels (tâches, contraintes et risques sur le plan physique et psychique) et extraprofessionnels (contraintes socio-familiales). En plus, la lumière tamisée étant inactive sur le plan biologique comparativement aux éclairages habituels, l'effet de la lumière bleue pourrait avoir été surestimé dans nos résultats : nous rappelons que les résultats issus de cette étude ont été obtenus en administrant des *pulses* intermittents de lumière blanche enrichie en bleu à une intensité lumineuse de 200 lux.

4. Perspectives

La quantité de données qui ont été recueillies au sein de l'étude ChronoSomnoEEG est très vaste et touche différents domaines de la recherche scientifique. Les nouveautés apportées par les données analysées à l'heure actuelle peuvent offrir des points de réflexion sur les effets directs de la lumière bleue, considérée traditionnellement comme néfaste sur le sommeil. Nos résultats suggèrent des bénéfices sur plusieurs aspects tels que la vigilance, l'éveil, le temps de réaction, l'attention soutenu et la mémoire de travail en cas d'une exposition lors de la période critique en fin de nuit qui est généralement associée à une dégradation physiologique de toutes ces fonctions. D'autres paramètres intéressants au sein de ces données pourraient faire l'objet d'analyses ultérieures sur le plan de la recherche biomédicale concernant la variabilité de la fréquence cardiaque, les polymorphismes génétiques au niveau des gènes horloge, l'effet des siestes, les différents stades de sommeil tout au long de la nuit de récupération ainsi que leur lien avec les performances cognitives. Pour ce qui concerne des études ultérieures, au vu de nos résultats qui suggèrent une sensibilité différente des individus à l'effet du processus circadien endogène en raison d'une dispersion plus importante des données au cours de la nuit subjective, il serait également intéressant de réaliser des analyses plus approfondies sur cet effet en l'isolant chez des sujets en siestes répétées et lumière tamisée : des analyses en sous-groupes n'ont pas pu être réalisées dans le cadre de notre étude en raison du nombre des sujets. La compréhension des effets de l'administration de lumière peut permettre des avancées d'une part dans un contexte de prévention au niveau de l'éclairage mais d'autre part également sur le plan thérapeutique pour ce qui concerne la luminothérapie, utilisée dans la prise en charge de troubles psychiatriques et somatiques. En particulier, il semble que, si une lumière riche en bleu est administrée le matin, elle semble plus efficace dans le traitement de la dépression (11).

Sur le plan de la santé au travail, la lumière bleue reste un sujet vaste qui nécessite davantage de connaissances concernant son impact sur des catégories non représentées lors de notre étude mais

qui représentent une population non négligeable de travailleurs, comme les sujets âgés de plus 40 ans, ayant des chronotypes extrêmes ou atteints de pathologies. Ceci pourrait être l'objet de protocoles ultérieurs. Il serait également intéressant de réaliser des études expérimentales sur des professionnels en conditions réelles ou simulées de travail pour approfondir l'effet dans des conditions plus représentatives de la réalité.

Dans la période actuelle d'évolution technologique avec déploiement de nouveaux systèmes et méthodes d'éclairage ainsi que d'autres sources artificielles de lumière (ordinateur, téléphone, signalétique..), les effets de l'exposition lumineuse à l'échelle de l'individu et de la collectivité sont des questions d'intérêt pour la santé au travail et la santé publique (2) (6). ChronoSomnoEEG et son successeur LumEnColor, projet retenu dans le cadre de l'appel à projet de recherche environnement, travail et santé de l'ANSES et qui est en cours au CIRCSom, font partie de cet axe. LumEnColor permettra d'isoler et d'étudier les effets d'une lumière blanche polychromatique ainsi qu'enrichie en rouge ou vert. La comparaison des résultats à ceux de ChronoSomnoEEG donnera une vision globale de l'influence de la lumière sur la physiologie et le comportement et pourrait suggérer des pistes pour l'adaptation de l'éclairage en fonction des situations professionnelles spécifiques, en tenant compte à la fois du moment circadien de la journée et des besoins individuels des travailleurs, y compris la dette de sommeil, en fonction des horaires de travail et du poste occupé, notamment dans le cadre du travail en horaires atypiques.

Conclusion

La lumière influence fortement des nombreux paramètres physiologiques et comportementaux et ses effets dépendent de plusieurs facteurs, en particulier de la composante du spectre lumineux. La partie bleue du spectre de la lumière visible est un sujet de préoccupation de la part du monde de la santé au travail en raison des conséquences chronobiologiques observées lors d'une exposition à un horaire inadapté. Le risque de perturbation de l'horloge biologique et des rythmes circadiens, dû à un effet non-visuel indirect de la lumière, concerne en particulier une population à risque constituée par les travailleurs de nuit et postés, mais peut potentiellement toucher tout travailleur qui est exposé à un éclairage riche en longueurs d'ondes courtes à des moments inadaptés sur le plan circadien. Ce risque est de plus en plus présent en raison de l'évolution technologique et de la diffusion des LEDs sur le plan sociétal, lesquels ont généralement un pic d'émission entre 450 et 480 nanomètres c'est-à-dire dans la partie bleue du spectre de la lumière visible. Cependant, si la lumière peut perturber les rythmes biologiques, elle synchronise l'horloge biologique et exerce aussi des effets bénéfiques sur la physiologie et le comportement. Ainsi la recherche au cours des dernières décennies a démontré que la lumière avait des effets non-visuels directs améliorant le niveau de vigilance, la qualité de l'éveil et des performances cognitives et que ces effets sont maximaux lorsqu'une lumière bleue est utilisée. Une exposition nocturne à la lumière peut donc être bénéfique à des travailleurs de nuit en les aidant à rester éveillés et à pouvoir effectuer leurs tâches au travail.

Il semble donc impératif d'approfondir les connaissances sur les effets sanitaires de la lumière bleue. Ces effets ont en effet été bien décrits mais différent selon le moment de la journée, ce qui reste mal compris, et ont été peu étudiés chez des sujets en privation de sommeil. Ce travail de thèse porte donc sur les effets directs, non circadiens, de l'exposition à une lumière blanche enrichie en bleu sur la vigilance, la somnolence, l'attention soutenue, le temps de réaction et la

mémoire de travail, et ce en fonction du niveau de pression homéostatique de sommeil (niveau de privation de sommeil) et du moment circadien de la journée. Cela a été possible grâce à l'étude clinique expérimentale « ChonoSomnoEEG » qui repose sur la réalisation au CIRCSom chez des sujets sains de protocoles chronobiologiques en conditions contrôlées. La conception originale de ce protocole comprend deux conditions chronobiologiques différentes, une privation de sommeil de 40 heures ou une session de siestes multiples sur une période de 40 heures, et deux conditions d'exposition lumineuse, soit des cycles de lumière blanche enrichie en bleu, soit des cycles de lumière contrôle tamisée « inactive ». Le protocole comprend donc quatre bras expérimentaux différents (privation de sommeil + cycles de lumière tamisée, privation de sommeil + cycles de lumière enrichie en bleue, siestes répétées + cycles de lumière tamisée, siestes répétées + cycles de lumière enrichie en bleu). Des évaluations électroencéphalographiques, comportementales et biologiques étaient réalisées de façon répétée tout au long du protocole.

La condition expérimentale de siestes multiples en lumière tamisée permet de maintenir une pression homéostatique basse et de contrôler les synchroniseurs de l'horloge et permet ainsi d'analyser le processus circadien endogène. L'analyse de cette condition expérimentale a mis en évidence une modulation circadienne de la somnolence objective, de la somnolence subjective, de l'attention soutenue, de la mémoire de travail et du temps de réaction. Globalement, la somnolence et la dégradation des performances sont observées lors de la nuit subjective avec un maximum en fin de nuit et au petit matin, pour retourner ensuite aux valeurs de base lors de la journée qui suit. Cette modulation s'explique par l'influence du signal circadien issu de l'horloge biologique qui favorise la promotion de l'éveil et un meilleur fonctionnement cognitif au cours de la journée et notamment en fin de journée et qui favorise le sommeil et de moins bonnes performances cognitives au cours de la nuit, notamment en fin de nuit.

L'analyse de la condition de privation de sommeil en lumière tamisée permet de caractériser les effets de l'accumulation de pression homéostatique de sommeil, couplés aux effets du processus

circadien. Nous avons observé une majoration importante de la somnolence (à partir de 20 heures passées éveillés) et une diminution marquée de la vigilance, de l'attention soutenue et de la mémoire de travail au cours de la nuit subjective, en raison des effets synergiques des processus circadien et homéostasique. Au cours de la journée qui suit on observe une amélioration modérée de la vigilance et des performances cognitives en raison de l'effet du processus circadien qui contrebalance l'effet délétère de la privation de sommeil. Ces résultats expliquent pourquoi un sujet en privation de sommeil, comme un travailleur de nuit n'ayant pas dormi pendant la période de jour précédente va être particulièrement affecté pendant la période de nuit, en particulier en fin de nuit.

La condition de siestes multiples en lumière enrichie en bleue permet d'analyser les effets photiques en fonction du moment circadien. Les analyses montrent une réduction significative du score de somnolence subjective ainsi que du temps de réaction et une tendance (non significatif) à une amélioration de l'attention soutenue et de la mémoire de travail, au cours de la nuit subjective correspondant à la période critique de moindre vigilance et de moindre performance cognitive.

L'administration des cycles de lumière enrichie en bleu chez les sujets en privation de sommeil révèlent que la lumière bleue exerce des effets bénéfiques, observées exclusivement au cours de la période critique, entre la fin de nuit et tôt le matin. Ainsi, lors d'une pression de sommeil équivalente à celle cumulée lors d'un jour et d'une nuit éveillée, sont observés une amélioration significative de la somnolence objective et une tendance concernant l'attention soutenue, la mémoire de travail et le temps de réaction.

Dans l'ensemble, nos résultats sont cohérents avec la littérature sur le sujet et ouvrent la voie à des pistes de réflexion en matière de santé au travail qui méritent d'être explorées. Les avantages en fin de nuit se manifesteraient au niveau des performances sur le poste de travail et de la réduction du risque d'accidents du travail ou de trajet, ces risques étant particulièrement affectés par la période critique. Les effets de la lumière bleue pourraient être avantageux en premier lieu pour les

professions qui sont amenées à travailler régulièrement en journée mais chargées de période d'astreinte avec une contrainte de garde ou d'astreinte nocturne, telles que les médecins et autres professionnels de la santé, les cadres, les électriciens ou techniciens de maintenance, le personnel de secours routier, les responsables informatiques de banques ou d'autres établissements socioéconomiques, les agents de la police ou d'autres forces de l'ordre. Ces bénéfices pourraient également intéresser les contextes professionnels avec des horaires variables d'un jour à l'autre ou avec roulement sur différents postes pour palier des absences. Etant donnée la privation de sommeil chronique à laquelle ils sont généralement soumis mais aussi les contraintes nocturnes sur des périodes prolongées, une réflexion approfondie devrait être menée également sur les travailleurs postés de nuit quant à la balance risques/bénéfices en raison des risques de perturbation du rythme circadien et de développer des troubles du sommeil.

Ce travail de thèse s'inscrit dans un axe de recherche qui revêt de plus en plus d'importance dans les domaines de la santé au travail et de la santé publique et qui vise à développer les connaissances concernant les effets non-visuels de l'exposition lumineuse sur l'être humain. Jusqu'à présent, la recherche scientifique s'est principalement intéressée à la lumière bleue. De cette dynamique fait partie le protocole qui succède à ChronoSomnoEEG, à savoir LumEnColor, en cours actuellement au CIRCSom et qui permettra d'isoler et d'étudier les effets d'autres spectres de couleurs de la lumière visible (rouge, vert et blanc polychromatique). Les résultats de cette étude en comparaison de ceux de ChronoSomnoEEG contribueront à une compréhension globale, approfondie et transdisciplinaire de l'influence de la lumière sur la physiologie et le comportement et ouvriront des nombreuses et différentes perspectives.

Sur le plan médical, la quantification des effets directs de la lumière en fonction de sa composition spectrale ainsi que des processus homéostasique et circadien pourrait améliorer la prévention et la prise en charge des troubles du sommeil et des troubles du rythme circadien. Elle pourrait aussi

améliorer les connaissances sur l'utilisation de la luminothérapie, la composition spectrale à privilégier et le moment d'administration.

Sur le plan sociétal, il est essentiel d'étudier les effets des différentes parties du spectre de la lumière visible sur la physiologie et le comportement pour comprendre les répercussions de l'éclairage et de la pollution lumineuse sur l'ensemble de la population.

En santé au travail, cette analyse pourrait fournir des pistes de réflexion pour l'adaptation de l'éclairage en fonction des situations professionnelles spécifiques, en prenant compte à la fois le moment circadien de la journée et les besoins individuels des travailleurs, notamment dans le cadre du travail en horaires atypiques.

Dans un contexte plus global, les résultats issus de ce travail de thèse apportent des éléments qui contribuent à approfondir la compréhension des effets d'une exposition à une lumière enrichie en bleu sur l'être humain à la fois à l'échelle individuelle dans une dimension médicale, et à l'échelle collective dans une dimension sociétale.

VU

Strasbourg, le 26 Septembre 2023

La Présidente du jury de thèse

Professeur Nora GONZALEZ



VU et approuvé

Strasbourg, le 26 SEP. 2023

Le Doyen de la Faculté de
Médecine, Maïeutique et Sciences de la Santé

Professeur Jean SIBILIA

Annexes

1. Légende horaire des tests réalisés

Paramètres de base		KDT et KSS	
H	Début nuit de base	1A	H + 8h00
H + 8h00	Réveil du sujet	1B	H + 9h15
H + 48h00	Début nuit de récupération	1C	H + 10h30
SART et PVT		2A	H + 11h45
I	H+9h15	2B	H + 13h00
II	H+13h00	2C	H + 14h15
III	H+16h45	3A	H + 15h30
IV	H+20h30	3B	H + 16h45
V	H+24h15	3C	H + 18h00
VI	H+28h00	4A	H + 19h15
VII	H+31h45	4B	H + 20h30
VIII	H+35h30	4C	H + 21h45
IX	H+39h15	5A	H + 23h00
X	H+43h00	5B	H + 24h15
XI	H+46h45	5C	H + 25h30
		6A	H + 26h45
		6B	H + 28h00
		6C	H + 29h15
		7A	H + 30h30
		7B	H + 31h45
		7C	H + 33h00
		8A	H + 34h15
		8B	H + 35h30
		8C	H + 36h45
		9A	H + 38h00
		9B	H + 39h15
		9C	H + 40h30
		10A	H + 41h45
		10B	H + 43h00
		10C	H + 44h15
		11A	H + 45h30
		11B	H + 46h45
		11C	H + 48h00

Tableau 2. Horaires des tests réalisés au cours de la période de 40 heures. KDT : Karolinska Drowsiness Test ; KSS : Karolinska

Sleepiness Scale ; SART : Sustained Attention to Response Task ; PVT : Psychomotor Vigilance Task.

2. Analyse statistique : KDT

- Analyses de l'effet « condition lumineuse », groupes SD + DL versus SD + BEL :

Fixed Effects Parameter Estimates				95% Confidence Interval					
Names	Effect	Estimate	SE	Lower	Upper	df	t	p	
(Intercept)	(Intercept)	55.2593	7.69	40.19	70.3	30.0	7.18893	< .001	
light_condition1	dim light - blue enriched	11.0849	15.37	-19.05	41.2	30.0	0.72104	0.476	
light_condition1 * time1	dim light - blue enriched * KDT1B - KDT1A	9.6457	29.36	-47.91	67.2	941.1	0.32848	0.743	
light_condition1 * time2	dim light - blue enriched * KDT1C - KDT1A	-0.7997	29.65	-58.91	57.3	941.2	-0.02698	0.978	
light_condition1 * time3	dim light - blue enriched * KDT2A - KDT1A	1.8221	29.36	-55.73	59.4	941.1	0.06205	0.951	
light_condition1 * time4	dim light - blue enriched * KDT2B - KDT1A	13.7265	29.61	-44.31	71.8	941.2	0.46355	0.643	
light_condition1 * time5	dim light - blue enriched * KDT2C - KDT1A	-0.7431	29.36	-58.30	56.8	941.1	-0.02530	0.980	
light_condition1 * time6	dim light - blue enriched * KDT3A - KDT1A	-8.6569	29.36	-66.21	48.9	941.1	-0.29480	0.768	
light_condition1 * time7	dim light - blue enriched * KDT3B - KDT1A	12.2221	29.36	-45.33	69.8	941.1	0.41621	0.677	
light_condition1 * time8	dim light - blue enriched * KDT3C - KDT1A	0.9186	29.36	-56.64	58.5	941.1	0.03128	0.975	
light_condition1 * time9	dim light - blue enriched * KDT4A - KDT1A	-1.1009	29.11	-58.16	56.0	941.0	-0.03781	0.970	
light_condition1 * time10	dim light - blue enriched * KDT4B - KDT1A	17.9187	29.36	-39.63	75.5	941.1	0.61024	0.542	
light_condition1 * time11	dim light - blue enriched * KDT4C - KDT1A	-0.6450	29.36	-58.20	56.9	941.1	-0.02197	0.982	
light_condition1 * time12	dim light - blue enriched * KDT5A - KDT1A	8.2529	29.11	-48.81	65.3	941.0	0.28347	0.777	
light_condition1 * time13	dim light - blue enriched * KDT5B - KDT1A	19.8040	29.11	-37.26	76.9	941.0	0.68021	0.497	
light_condition1 * time14	dim light - blue enriched * KDT5C - KDT1A	23.0570	29.11	-34.01	80.1	941.0	0.79194	0.429	
light_condition1 * time15	dim light - blue enriched * KDT6A - KDT1A	28.9410	29.36	-28.61	86.5	941.1	0.98562	0.325	
light_condition1 * time16	dim light - blue enriched * KDT6B - KDT1A	37.6362	29.36	-19.91	95.2	941.1	1.28174	0.200	
light_condition1 * time17	dim light - blue enriched * KDT6C - KDT1A	47.5593	29.11	-9.50	104.6	941.0	1.63353	0.103	
light_condition1 * time18	dim light - blue enriched * KDT7A - KDT1A	-3.7808	29.36	-61.33	53.8	941.1	-0.12876	0.898	
light_condition1 * time19	dim light - blue enriched * KDT7B - KDT1A	78.0143	29.64	19.91	136.1	941.2	2.63163	0.009	
light_condition1 * time20	dim light - blue enriched * KDT7C - KDT1A	65.0206	29.11	7.96	122.1	941.0	2.23328	0.026	
light_condition1 * time21	dim light - blue enriched * KDT8A - KDT1A	30.2036	29.11	-26.86	87.3	941.0	1.03741	0.300	
light_condition1 * time22	dim light - blue enriched * KDT8B - KDT1A	25.4756	29.11	-31.59	82.5	941.0	0.87502	0.382	
light_condition1 * time23	dim light - blue enriched * KDT8C - KDT1A	25.3705	29.11	-31.69	82.4	941.0	0.87141	0.384	
light_condition1 * time24	dim light - blue enriched * KDT9A - KDT1A	15.1003	29.11	-41.96	72.2	941.0	0.51865	0.604	
light_condition1 * time25	dim light - blue enriched * KDT9B - KDT1A	1.0731	29.11	-55.99	58.1	941.0	0.03686	0.971	
light_condition1 * time26	dim light - blue enriched * KDT9C - KDT1A	-10.9653	29.11	-68.03	46.1	941.0	-0.37663	0.707	
light_condition1 * time27	dim light - blue enriched * KDT10A - KDT1A	3.5723	29.11	-53.49	60.6	941.0	0.12270	0.902	
light_condition1 * time28	dim light - blue enriched * KDT10B - KDT1A	-25.4203	29.11	-82.48	31.6	941.0	-0.87312	0.383	
light_condition1 * time29	dim light - blue enriched * KDT10C - KDT1A	-9.4294	29.11	-66.49	47.6	941.0	-0.32388	0.746	
light_condition1 * time30	dim light - blue enriched * KDT11A - KDT1A	21.3452	29.11	-35.72	78.4	941.0	0.73315	0.464	
light_condition1 * time31	dim light - blue enriched * KDT11B - KDT1A	15.6441	29.36	-41.91	73.2	941.1	0.53278	0.594	
light_condition1 * time32	dim light - blue enriched * KDT11C - KDT1A	61.9854	29.36	4.43	119.5	941.1	2.11099	0.035	

Mixed Model		Random Components				
Model Info	Estimate	Groups	Name	SD	Variance	ICC
Info	Linear mixed model fit by REML	subject	(Intercept)	42.3	1786	0.345
Call	theta/alpha_YF ~ 1 + light_condition + time + light_condition:time+(1 subject)	Residual		58.2	3391	
AIC	11532.789	Note. Number of Obs: 1037 , groups: subject 32				
BIC	11389.315	Model Results				
LogLikel.	-5458.559	Fixed Effect Omnibus tests				
R-squared Marginal	0.272		F	Num df	Den df	p
R-squared Conditional	0.523	light_condition	0.520	1	30.0	0.476
Converged	yes	time	16.720	32	941.1	< .001
Optimizer	bobyqa	light_condition * time	1.209	32	941.1	0.198
Note. Satterthwaite method for degrees of freedom						

■ Analyses de l'effet « condition lumineuse », groupes Naps + DL *versus* Naps + SD

Fixed Effects Parameter Estimates					95% Confidence Interval				
Names	Effect	Estimate	SE	Lower	Upper	df	t	p	
(Intercept)	(Intercept)	15.613	4.16	7.458	23.77	30.1	3.7525	< .001	
light_condition1	dim light - blue enriched	-7.108	8.32	-23.418	9.20	30.1	-0.8542	0.400	
light_condition1 * time1	dim light - blue enriched * KDT1B - KDT1A	-3.893	19.57	-42.251	34.46	942.4	-0.1989	0.842	
light_condition1 * time2	dim light - blue enriched * KDT1C - KDT1A	11.347	19.41	-26.692	49.39	942.2	0.5847	0.559	
light_condition1 * time3	dim light - blue enriched * KDT2A - KDT1A	1.291	19.41	-36.748	39.33	942.2	0.0665	0.947	
light_condition1 * time4	dim light - blue enriched * KDT2B - KDT1A	-2.665	19.57	-41.023	35.69	942.4	-0.1362	0.892	
light_condition1 * time5	dim light - blue enriched * KDT2C - KDT1A	-3.594	19.41	-41.633	34.44	942.2	-0.1852	0.853	
light_condition1 * time6	dim light - blue enriched * KDT3A - KDT1A	0.334	19.41	-37.705	38.37	942.2	0.0172	0.986	
light_condition1 * time7	dim light - blue enriched * KDT3B - KDT1A	-9.864	19.57	-48.223	28.49	942.4	-0.5040	0.614	
light_condition1 * time8	dim light - blue enriched * KDT3C - KDT1A	-7.707	19.41	-45.746	30.33	942.2	-0.3971	0.691	
light_condition1 * time9	dim light - blue enriched * KDT4A - KDT1A	-10.489	19.41	-48.528	27.55	942.2	-0.5405	0.589	
light_condition1 * time10	dim light - blue enriched * KDT4B - KDT1A	-12.302	19.73	-50.973	26.37	942.5	-0.6235	0.533	
light_condition1 * time11	dim light - blue enriched * KDT4C - KDT1A	-7.967	19.41	-46.006	30.07	942.2	-0.4105	0.682	
light_condition1 * time12	dim light - blue enriched * KDT5A - KDT1A	-29.104	19.41	-67.143	8.94	942.2	-1.4996	0.134	
light_condition1 * time13	dim light - blue enriched * KDT5B - KDT1A	-9.965	19.57	-48.323	28.39	942.4	-0.5092	0.611	
light_condition1 * time14	dim light - blue enriched * KDT5C - KDT1A	8.589	19.41	-29.450	46.63	942.2	0.4426	0.658	
light_condition1 * time15	dim light - blue enriched * KDT6A - KDT1A	-17.813	19.41	-55.852	20.23	942.2	-0.9178	0.359	
light_condition1 * time16	dim light - blue enriched * KDT6B - KDT1A	11.036	19.57	-27.322	49.39	942.4	0.5639	0.573	
light_condition1 * time17	dim light - blue enriched * KDT6C - KDT1A	-8.892	19.41	-46.931	29.15	942.2	-0.4582	0.647	
light_condition1 * time18	dim light - blue enriched * KDT7A - KDT1A	-20.182	19.41	-58.221	17.86	942.2	-1.0399	0.299	
light_condition1 * time19	dim light - blue enriched * KDT7B - KDT1A	-21.593	19.73	-60.264	17.08	942.5	-1.0944	0.274	
light_condition1 * time20	dim light - blue enriched * KDT7C - KDT1A	3.443	19.41	-34.596	41.48	942.2	0.1774	0.859	
light_condition1 * time21	dim light - blue enriched * KDT8A - KDT1A	-27.184	19.41	-65.223	10.85	942.2	-1.4007	0.162	
light_condition1 * time22	dim light - blue enriched * KDT8B - KDT1A	9.309	19.57	-29.049	47.67	942.4	0.4756	0.634	
light_condition1 * time23	dim light - blue enriched * KDT8C - KDT1A	2.662	19.57	-35.692	41.02	942.3	0.1360	0.892	
light_condition1 * time24	dim light - blue enriched * KDT9A - KDT1A	7.726	19.41	-30.313	45.77	942.2	0.3981	0.691	
light_condition1 * time25	dim light - blue enriched * KDT9B - KDT1A	-7.533	19.73	-46.204	31.14	942.5	-0.3818	0.703	
light_condition1 * time26	dim light - blue enriched * KDT9C - KDT1A	6.787	19.41	-31.252	44.83	942.2	0.3497	0.727	
light_condition1 * time27	dim light - blue enriched * KDT10A - KDT1A	6.122	19.56	-32.214	44.46	942.2	0.3130	0.754	
light_condition1 * time28	dim light - blue enriched * KDT10B - KDT1A	4.609	19.57	-33.749	42.97	942.4	0.2355	0.814	
light_condition1 * time29	dim light - blue enriched * KDT10C - KDT1A	-6.800	19.41	-44.839	31.24	942.2	-0.3504	0.726	
light_condition1 * time30	dim light - blue enriched * KDT11A - KDT1A	-0.280	19.41	-38.320	37.76	942.2	-0.0145	0.988	
light_condition1 * time31	dim light - blue enriched * KDT11B - KDT1A	4.829	19.57	-33.529	43.19	942.4	0.2467	0.805	
light_condition1 * time32	dim light - blue enriched * KDT11C - KDT1A	-4.941	19.41	-42.980	33.10	942.2	-0.2546	0.799	

Mixed Model	
Model Info	
Info	
Estimate	Linear mixed model fit by REML
Call	theta/alpha_YF ~ 1 + light_condition + time + light_condition:time+(1 subject)
AIC	10654.577
BIC	10567.766
LogLikel.	-5047.751
R-squared Marginal	0.150
R-squared Conditional	0.370
Converged	yes
Optimizer	bobyqa

Model Results				
Fixed Effect Omnibus tests				
	F	Num df	Den df	p
light_condition	0.730	1	30.1	0.400
time	6.797	32	942.2	< .001
light_condition * time	0.621	32	942.2	0.952
Note. Satterthwaite method for degrees of freedom				
Random Components				
Groups	Name	SD	Variance	ICC
subject	(Intercept)	22.6	509	0.259
Residual		38.2	1457	
Note. Number of Obs: 1038 , groups: subject 32				

■ Analyses de l'effet « pression homéostatique de sommeil », groupes SD + DL versus Naps

+ DL :

Fixed Effects Parameter Estimates										
Names	Effect	Estimate	SE	95% Confidence Interval		df	t	p		
(Intercept)	(Intercept)	36.433	6.64	23.43	49.4	30.1	5.4898	< .001		
homeostatic_pressure1	sleep deprivation - naps	48.742	13.27	22.73	74.8	30.1	3.6723	< .001		
homeostatic_pressure1 * time1	sleep deprivation - naps * KDT1B - KDT1A	-5.390	23.86	-52.16	41.4	934.3	-0.2259	0.821		
homeostatic_pressure1 * time2	sleep deprivation - naps * KDT1C - KDT1A	-15.758	23.88	-62.57	31.1	934.2	-0.6598	0.510		
homeostatic_pressure1 * time3	sleep deprivation - naps * KDT2A - KDT1A	-1.211	23.66	-47.59	45.2	934.2	-0.0512	0.959		
homeostatic_pressure1 * time4	sleep deprivation - naps * KDT2B - KDT1A	4.720	23.86	-42.05	51.5	934.3	0.1978	0.843		
homeostatic_pressure1 * time5	sleep deprivation - naps * KDT2C - KDT1A	-1.205	23.66	-47.58	45.2	934.2	-0.0509	0.959		
homeostatic_pressure1 * time6	sleep deprivation - naps * KDT3A - KDT1A	-4.125	23.66	-50.50	42.3	934.2	-0.1743	0.862		
homeostatic_pressure1 * time7	sleep deprivation - naps * KDT3B - KDT1A	24.143	23.86	-22.62	70.9	934.3	1.0119	0.312		
homeostatic_pressure1 * time8	sleep deprivation - naps * KDT3C - KDT1A	16.758	23.66	-29.62	63.1	934.2	0.7082	0.479		
homeostatic_pressure1 * time9	sleep deprivation - naps * KDT4A - KDT1A	10.528	23.46	-35.46	56.5	934.1	0.4487	0.654		
homeostatic_pressure1 * time10	sleep deprivation - naps * KDT4B - KDT1A	16.382	23.86	-30.38	63.1	934.3	0.6866	0.492		
homeostatic_pressure1 * time11	sleep deprivation - naps * KDT4C - KDT1A	1.390	23.46	-44.60	47.4	934.1	0.0592	0.953		
homeostatic_pressure1 * time12	sleep deprivation - naps * KDT5A - KDT1A	26.277	23.46	-19.71	72.3	934.1	1.1199	0.263		
homeostatic_pressure1 * time13	sleep deprivation - naps * KDT5B - KDT1A	24.816	23.66	-21.56	71.2	934.2	1.0487	0.295		
homeostatic_pressure1 * time14	sleep deprivation - naps * KDT5C - KDT1A	47.289	23.46	1.30	93.3	934.1	2.0155	0.044		
homeostatic_pressure1 * time15	sleep deprivation - naps * KDT6A - KDT1A	54.509	23.66	8.14	100.9	934.2	2.3038	0.021		
homeostatic_pressure1 * time16	sleep deprivation - naps * KDT6B - KDT1A	59.648	23.66	13.27	106.0	934.2	2.5207	0.012		
homeostatic_pressure1 * time17	sleep deprivation - naps * KDT6C - KDT1A	92.907	23.46	46.92	138.9	934.1	3.9598	< .001		
homeostatic_pressure1 * time18	sleep deprivation - naps * KDT7A - KDT1A	50.406	23.66	4.03	96.8	934.2	2.1304	0.033		
homeostatic_pressure1 * time19	sleep deprivation - naps * KDT7B - KDT1A	107.278	23.66	60.90	153.7	934.2	4.5335	< .001		
homeostatic_pressure1 * time20	sleep deprivation - naps * KDT7C - KDT1A	69.909	23.46	23.92	115.9	934.1	2.9796	0.003		
homeostatic_pressure1 * time21	sleep deprivation - naps * KDT8A - KDT1A	67.883	23.46	21.90	113.9	934.1	2.8932	0.004		
homeostatic_pressure1 * time22	sleep deprivation - naps * KDT8B - KDT1A	71.066	23.66	24.69	117.4	934.2	3.0032	0.003		
homeostatic_pressure1 * time23	sleep deprivation - naps * KDT8C - KDT1A	58.128	23.66	11.75	104.5	934.2	2.4568	0.014		
homeostatic_pressure1 * time24	sleep deprivation - naps * KDT9A - KDT1A	76.059	23.46	30.07	122.0	934.1	3.2417	0.001		
homeostatic_pressure1 * time25	sleep deprivation - naps * KDT9B - KDT1A	88.358	23.66	41.98	134.7	934.2	3.7339	< .001		
homeostatic_pressure1 * time26	sleep deprivation - naps * KDT9C - KDT1A	64.131	23.46	18.15	110.1	934.1	2.7333	0.006		
homeostatic_pressure1 * time27	sleep deprivation - naps * KDT10A - KDT1A	61.698	23.46	15.71	107.7	934.1	2.6296	0.009		
homeostatic_pressure1 * time28	sleep deprivation - naps * KDT10B - KDT1A	51.916	23.66	5.54	98.3	934.2	2.1939	0.028		
homeostatic_pressure1 * time29	sleep deprivation - naps * KDT10C - KDT1A	43.305	23.46	-2.68	89.3	934.1	1.8457	0.065		
homeostatic_pressure1 * time30	sleep deprivation - naps * KDT11A - KDT1A	48.817	23.46	2.83	94.8	934.1	2.0806	0.038		
homeostatic_pressure1 * time31	sleep deprivation - naps * KDT11B - KDT1A	81.463	23.86	34.70	128.2	934.3	3.4144	< .001		
homeostatic_pressure1 * time32	sleep deprivation - naps * KDT11C - KDT1A	96.590	23.46	50.60	142.6	934.1	4.1167	< .001		

Mixed Model		Random Components				
Model Info		Groups	Name	SD	Variance	ICC
Info		subject	(Intercept)	36.6	1342	0.383
Estimate	Linear mixed model fit by REML	Residual		46.5	2165	
Call	theta/alpha_YF ~ 1 + homeostatic_pressure + time + homeostatic_pressure:time+(1 subject)	Note. Number of Obs: 1030 , groups: subject 32				
AIC	10998.561					
BIC	10883.498					
LogLikel.	-5205.880					
R-squared Marginal	0.354					
R-squared Conditional	0.601					
Converged	yes					
Optimizer	bobyqa					
		Model Results				
		Fixed Effect Omnibus tests				
	F	Num df	Den df	p		
homeostatic_pressure	13.49	1	30.1	< .001		
time	15.02	32	934.1	< .001		
homeostatic_pressure * time	4.27	32	934.1	< .001		
Note. Satterthwaite method for degrees of freedom						

■ Analyses de l'effet « temps », groupe Naps + DL :

Tests post hoc									
Comparaisons post hoc - Time									
Comparaison									
Time		Time	Différence moyenne	Erreur standard	ddl	t	ptukey		
1A	-	1B	-11.9284	7.35	12.0	-1.62393	0.993		
	-	1C	-16.6038	7.93	12.0	-2.09507	0.921		
	-	2A	0.7061	5.71	12.0	0.12367	1.000		
	-	2B	-8.2512	7.17	12.0	-1.15077	1.000		
	-	2C	-7.5711	8.98	12.0	-0.84355	1.000		
	-	3A	-3.6001	8.56	12.0	-0.42044	1.000		
	-	3B	-3.3471	5.73	12.0	-0.58372	1.000		
	-	3C	-3.2727	4.86	12.0	-0.67332	1.000		
	-	4A	5.8282	7.28	12.0	0.80046	1.000		
	-	4B	-1.6081	6.72	12.0	-0.23933	1.000		
	-	4C	-5.3135	8.02	12.0	-0.66241	1.000		
	-	5A	-2.9436	9.95	12.0	-0.29580	1.000		
	-	5B	-19.0177	12.51	12.0	-1.51982	0.997		
	-	5C	-18.1899	9.94	12.0	-1.82946	0.975		
	-	6A	-23.6267	10.83	12.0	-2.18078	0.895		
	-	6B	-48.3891	25.10	12.0	-1.92794	0.960		
	-	6C	-29.5125	9.95	12.0	-2.96588	0.521		
	-	7A	-53.5219	18.64	12.0	-2.87162	0.569		
	-	7B	-53.6866	13.13	12.0	-4.08730	0.133		
	-	7C	-58.1329	21.49	12.0	-2.70449	0.657		
	-	8A	-30.2460	11.14	12.0	-2.71484	0.652		
	-	8B	-33.0122	12.38	12.0	-2.66611	0.677		
	-	8C	-42.1835	10.93	12.0	-3.85895	0.181		
	-	9A	-26.9509	16.10	12.0	-1.67351	0.990		
	-	9B	-18.1468	9.63	12.0	-1.88347	0.968		
	-	9C	-28.1411	10.44	12.0	-2.69517	0.662		
	-	10A	-27.0856	15.70	12.0	-1.72522	0.986		
	-	10B	-39.2219	12.69	12.0	-3.09181	0.459		
	-	10C	-23.4456	10.38	12.0	-2.25911	0.867		
	-	11A	-30.9347	18.85	12.0	-1.64125	0.992		
	-	11B	-30.0134	14.23	12.0	-2.10881	0.917		
	-	11C	-31.5733	9.67	12.0	-3.26506	0.380		

Anova pour mesures répétées							
Effets intra-sujets							
	Correction de la spécificité	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F	p	
Time	Aucune	126258	32	3946	3.89	< .001	
	Greenhouse-Geisser	126258	32.0	3946	3.89	< .001	
Résidu	Aucune	389720	384	1015			
	Greenhouse-Geisser	389720	384.0	1015			
Note. Somme des carrés de type 3							

Effets inter-sujets						
	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F	p	
Résidu	232579	12	19382			
Note. Somme des carrés de type 3						

3. Analyse statistique : KSS

- Analyses de l'effet « condition lumineuse », groupes SD + DL *versus* SD + BEL :

Fixed Effects Parameter Estimates											
Names	Effect	Estimate	SE	95% Confidence Interval		df	t			p	
(Intercept)	(Intercept)	5.5576	0.190	5.186	5.9295	30.0	29.2876			< .001	
light_condition1	dim light - blue enriched	-0.2400	0.380	-0.984	0.5039	30.0	-0.6323			0.532	
light_condition1 * time1	dim light - blue enriched * KSS1o - KSS1A	0.7500	0.680	-0.583	2.0828	957.0	1.1029			0.270	
light_condition1 * time2	dim light - blue enriched * KSS1B - KSS1A	0.1875	0.680	-1.145	1.5203	957.0	0.2757			0.783	
light_condition1 * time3	dim light - blue enriched * KSS2A - KSS1A	0.0625	0.680	-1.270	1.3953	957.0	0.0919			0.927	
light_condition1 * time4	dim light - blue enriched * KSS2o - KSS1A	0.1250	0.680	-1.208	1.4578	957.0	0.1838			0.854	
light_condition1 * time5	dim light - blue enriched * KSS2B - KSS1A	-0.2976	0.686	-1.642	1.0466	957.1	-0.4339			0.664	
light_condition1 * time6	dim light - blue enriched * KSS3A - KSS1A	2.91e-14	0.680	-1.333	1.3328	957.0	4.28e-14			1.000	
light_condition1 * time7	dim light - blue enriched * KSS3o - KSS1A	0.1875	0.680	-1.145	1.5203	957.0	0.2757			0.783	
light_condition1 * time8	dim light - blue enriched * KSS3B - KSS1A	0.1875	0.680	-1.145	1.5203	957.0	0.2757			0.783	
light_condition1 * time9	dim light - blue enriched * KSS4A - KSS1A	-0.0625	0.680	-1.395	1.2703	957.0	-0.0919			0.927	
light_condition1 * time10	dim light - blue enriched * KSS4o - KSS1A	0.0625	0.680	-1.270	1.3953	957.0	0.0919			0.927	
light_condition1 * time11	dim light - blue enriched * KSS4B - KSS1A	3.24e-14	0.680	-1.333	1.3328	957.0	4.76e-14			1.000	
light_condition1 * time12	dim light - blue enriched * KSS5A - KSS1A	-0.3125	0.680	-1.645	1.0203	957.0	-0.4596			0.646	
light_condition1 * time13	dim light - blue enriched * KSS5o - KSS1A	0.4375	0.680	-0.895	1.7703	957.0	0.6434			0.520	
light_condition1 * time14	dim light - blue enriched * KSS5B - KSS1A	0.5000	0.680	-0.833	1.8328	957.0	0.7353			0.462	
light_condition1 * time15	dim light - blue enriched * KSS6A - KSS1A	-0.1875	0.680	-1.520	1.1453	957.0	-0.2757			0.783	
light_condition1 * time16	dim light - blue enriched * KSS6o - KSS1A	0.1250	0.680	-1.208	1.4578	957.0	0.1838			0.854	
light_condition1 * time17	dim light - blue enriched * KSS6B - KSS1A	0.0625	0.680	-1.270	1.3953	957.0	0.0919			0.927	
light_condition1 * time18	dim light - blue enriched * KSS7A - KSS1A	0.1875	0.680	-1.145	1.5203	957.0	0.2757			0.783	
light_condition1 * time19	dim light - blue enriched * KSS7o - KSS1A	3.09e-14	0.680	-1.333	1.3328	957.0	4.54e-14			1.000	
light_condition1 * time20	dim light - blue enriched * KSS7B - KSS1A	1.0034	0.686	-0.341	2.3476	957.1	1.4631			0.144	
light_condition1 * time21	dim light - blue enriched * KSS8A - KSS1A	3.08e-14	0.680	-1.333	1.3328	957.0	4.52e-14			1.000	
light_condition1 * time22	dim light - blue enriched * KSS8o - KSS1A	0.2500	0.680	-1.083	1.5828	957.0	0.3676			0.713	
light_condition1 * time23	dim light - blue enriched * KSS8B - KSS1A	-0.0622	0.686	-1.406	1.2820	957.1	-0.0906			0.928	
light_condition1 * time24	dim light - blue enriched * KSS9A - KSS1A	-0.4375	0.680	-1.770	0.8953	957.0	-0.6434			0.520	
light_condition1 * time25	dim light - blue enriched * KSS9o - KSS1A	-0.4375	0.680	-1.770	0.8953	957.0	-0.6434			0.520	
light_condition1 * time26	dim light - blue enriched * KSS9B - KSS1A	-0.4375	0.680	-1.770	0.8953	957.0	-0.6434			0.520	
light_condition1 * time27	dim light - blue enriched * KSS10A - KSS1A	-0.6875	0.680	-2.020	0.6453	957.0	-1.0110			0.312	
light_condition1 * time28	dim light - blue enriched * KSS10o - KSS1A	-1.0000	0.680	-2.333	0.3328	957.0	-1.4706			0.142	
light_condition1 * time29	dim light - blue enriched * KSS10B - KSS1A	-0.7500	0.680	-2.083	0.5828	957.0	-1.1029			0.270	
light_condition1 * time30	dim light - blue enriched * KSS11A - KSS1A	-0.3750	0.680	-1.708	0.9578	957.0	-0.5515			0.581	
light_condition1 * time31	dim light - blue enriched * KSS11o - KSS1A	0.4375	0.680	-0.895	1.7703	957.0	0.6434			0.520	
light_condition1 * time32	dim light - blue enriched * KSS11B - KSS1A	0.8125	0.680	-0.520	2.1453	957.0	1.1948			0.232	

Mixed Model	
Model Info	
Info	
Estimate	Linear mixed model fit by REML
Call	KSS_score ~ 1 + light_condition + time + light_condition:time+(1 subject)
AIC	3800.351
BIC	4154.611
LogLikel.	-1840.686
R-squared Marginal	0.509
R-squared Conditional	0.692
Converged	yes
Optimizer	bobyqa

Model Results				
Fixed Effect Omnibus tests				
	F	Num df	Den df	p
light_condition	0.400	1	30.0	0.532
time	53.228	32	957.0	< .001
light_condition * time	0.817	32	957.0	0.754
Note. Satterthwaite method for degrees of freedom				

Random Components				
Groups	Name	SD	Variance	ICC
subject	(Intercept)	1.05	1.10	0.372
Residual		1.36	1.85	
Note. Number of Obs: 1053 , groups: subject 32				

■ Analyses de l'effet « condition lumineuse », groupes Naps + DL *versus* Naps + SD

Fixed Effects Parameter Estimates											
Names	Effect	Estimate	SE	95% Confidence Interval		df	t	p			
(Intercept)	(Intercept)			Lower	Upper						
light_condition1	dim light - blue enriched	-0.3897	0.282	-0.9425	0.1631	30.0	-1.3817	< .001			
light_condition1 * time1	dim light - blue enriched * KSS1B - KSS1A	3.72e-14	0.585	-1.1470	1.1470	956.0	6.36e-14	1.000			
light_condition1 * time2	dim light - blue enriched * KSS1C - KSS1A	0.0625	0.585	-1.0845	1.2095	956.0	0.1068	0.915			
light_condition1 * time3	dim light - blue enriched * KSS2A - KSS1A	-0.5220	0.590	-1.6788	0.6349	956.1	-0.8843	0.377			
light_condition1 * time4	dim light - blue enriched * KSS2B - KSS1A	0.2500	0.585	-0.8970	1.3970	956.0	0.4272	0.669			
light_condition1 * time5	dim light - blue enriched * KSS2C - KSS1A	0.1250	0.585	-1.0220	1.2720	956.0	0.2136	0.831			
light_condition1 * time6	dim light - blue enriched * KSS3A - KSS1A	0.1875	0.585	-0.9595	1.3345	956.0	0.3204	0.749			
light_condition1 * time7	dim light - blue enriched * KSS3B - KSS1A	0.4375	0.585	-0.7095	1.5845	956.0	0.7476	0.455			
light_condition1 * time8	dim light - blue enriched * KSS3C - KSS1A	0.0625	0.585	-1.0845	1.2095	956.0	0.1068	0.915			
light_condition1 * time9	dim light - blue enriched * KSS4A - KSS1A	0.1250	0.585	-1.0220	1.2720	956.0	0.2136	0.831			
light_condition1 * time10	dim light - blue enriched * KSS4B - KSS1A	0.3750	0.585	-0.7720	1.5220	956.0	0.6408	0.522			
light_condition1 * time11	dim light - blue enriched * KSS4C - KSS1A	-0.2016	0.596	-1.3695	0.9663	956.1	-0.3383	0.735			
light_condition1 * time12	dim light - blue enriched * KSS5A - KSS1A	-0.0625	0.585	-1.2095	1.0845	956.0	-0.1068	0.915			
light_condition1 * time13	dim light - blue enriched * KSS5B - KSS1A	-0.0625	0.585	-1.2095	1.0845	956.0	-0.1068	0.915			
light_condition1 * time14	dim light - blue enriched * KSS5C - KSS1A	0.1250	0.585	-1.0220	1.2720	956.0	0.2136	0.831			
light_condition1 * time15	dim light - blue enriched * KSS6A - KSS1A	0.0625	0.585	-1.0845	1.2095	956.0	0.1068	0.915			
light_condition1 * time16	dim light - blue enriched * KSS6B - KSS1A	-0.4375	0.585	-1.5845	0.7095	956.0	-0.7476	0.455			
light_condition1 * time17	dim light - blue enriched * KSS6C - KSS1A	-0.0119	0.590	-1.1687	1.1449	956.1	-0.0202	0.984			
light_condition1 * time18	dim light - blue enriched * KSS7A - KSS1A	0.8125	0.585	-0.3345	1.9595	956.0	1.3884	0.165			
light_condition1 * time19	dim light - blue enriched * KSS7B - KSS1A	0.8125	0.585	-0.3345	1.9595	956.0	1.3884	0.165			
light_condition1 * time20	dim light - blue enriched * KSS7C - KSS1A	1.3750	0.585	0.2280	2.5220	956.0	2.3495	0.019			
light_condition1 * time21	dim light - blue enriched * KSS8A - KSS1A	3.73e-14	0.585	-1.1470	1.1470	956.0	6.37e-14	1.000			
light_condition1 * time22	dim light - blue enriched * KSS8B - KSS1A	0.5625	0.585	-0.5845	1.7095	956.0	0.9612	0.337			
light_condition1 * time23	dim light - blue enriched * KSS8C - KSS1A	0.4375	0.585	-0.7095	1.5845	956.0	0.7476	0.455			
light_condition1 * time24	dim light - blue enriched * KSS9A - KSS1A	-0.5625	0.585	-1.7095	0.5845	956.0	-0.9612	0.337			
light_condition1 * time25	dim light - blue enriched * KSS9B - KSS1A	0.1250	0.585	-1.0220	1.2720	956.0	0.2136	0.831			
light_condition1 * time26	dim light - blue enriched * KSS9C - KSS1A	-0.1250	0.585	-1.2720	1.0220	956.0	-0.2136	0.831			
light_condition1 * time27	dim light - blue enriched * KSS10A - KSS1A	-0.8125	0.585	-1.9595	0.3345	956.0	-1.3884	0.165			
light_condition1 * time28	dim light - blue enriched * KSS10B - KSS1A	0.4375	0.585	-0.7095	1.5845	956.0	0.7476	0.455			
light_condition1 * time29	dim light - blue enriched * KSS10C - KSS1A	-0.0625	0.585	-1.2095	1.0845	956.0	-0.1068	0.915			
light_condition1 * time30	dim light - blue enriched * KSS11A - KSS1A	-0.5000	0.585	-1.6470	0.6470	956.0	-0.8544	0.393			
light_condition1 * time31	dim light - blue enriched * KSS11B - KSS1A	0.3125	0.585	-0.8345	1.4595	956.0	0.5340	0.593			
light_condition1 * time32	dim light - blue enriched * KSS11C - KSS1A	0.3125	0.585	-0.8345	1.4595	956.0	0.5340	0.593			

Mixed Model	
Model Info	
Info	
Estimate	Linear mixed model fit by REML
Call	KSS_score ~ 1 + light_condition + time + light_condition:time+(1 subject)
AIC	3471.658
BIC	3846.188
LogLikel.	-1686.507
R-squared Marginal	0.293
R-squared Conditional	0.507
Converged	yes
Optimizer	bobyqa

Model Results				
Fixed Effect Omnibus tests				
	F	Num df	Den df	p
light_condition	1.91	1	30.0	0.177
time	17.52	32	956.0	< .001
light_condition * time	1.09	32	956.0	0.343
Note. Satterthwaite method for degrees of freedom				
Random Components				
Groups	Name	SD	Variance	ICC
subject	(Intercept)	0.771	0.595	0.303
Residual		1.170	1.370	
Note. Number of Obs: 1052 , groups: subject 32				

■ Analyses de l'effet « pression homéostatique de sommeil », groupes SD + DL versus Naps

+ DL :

Fixed Effects Parameter Estimates										
Names	Effect	Estimate	SE	95% Confidence Interval		df	t	p		
				Lower	Upper					
(Intercept)	(Intercept)	4.5459	0.149	4.25356	4.83829	30.0	30.4756	< .001		
homeostatic_pressure1	sleep deprivation - naps	1.7833	0.298	1.19857	2.36801	30.0	5.9775	< .001		
homeostatic_pressure1 * time1	sleep deprivation - naps * KSS1B - KSS1A	0.4375	0.641	-0.81839	1.69339	957.0	0.6828	0.495		
homeostatic_pressure1 * time2	sleep deprivation - naps * KSS1C - KSS1A	0.3125	0.641	-0.94339	1.56839	957.0	0.4877	0.626		
homeostatic_pressure1 * time3	sleep deprivation - naps * KSS2A - KSS1A	-0.2279	0.646	-1.49449	1.03874	957.1	-0.3526	0.724		
homeostatic_pressure1 * time4	sleep deprivation - naps * KSS2B - KSS1A	0.3750	0.641	-0.88089	1.63089	957.0	0.5852	0.559		
homeostatic_pressure1 * time5	sleep deprivation - naps * KSS2C - KSS1A	0.1875	0.641	-1.06839	1.44339	957.0	0.2926	0.770		
homeostatic_pressure1 * time6	sleep deprivation - naps * KSS3A - KSS1A	-0.0625	0.641	-1.31839	1.19339	957.0	-0.0975	0.922		
homeostatic_pressure1 * time7	sleep deprivation - naps * KSS3B - KSS1A	0.7500	0.641	-0.50589	2.00589	957.0	1.1705	0.242		
homeostatic_pressure1 * time8	sleep deprivation - naps * KSS3C - KSS1A	1.1875	0.641	-0.06839	2.44339	957.0	1.8532	0.064		
homeostatic_pressure1 * time9	sleep deprivation - naps * KSS4A - KSS1A	0.4375	0.641	-0.81839	1.69339	957.0	0.6828	0.495		
homeostatic_pressure1 * time10	sleep deprivation - naps * KSS4B - KSS1A	1.2500	0.641	-0.00589	2.50589	957.0	1.9508	0.051		
homeostatic_pressure1 * time11	sleep deprivation - naps * KSS4C - KSS1A	1.3750	0.641	0.11911	2.63089	957.0	2.1458	0.032		
homeostatic_pressure1 * time12	sleep deprivation - naps * KSS5A - KSS1A	0.7500	0.641	-0.50589	2.00589	957.0	1.1705	0.242		
homeostatic_pressure1 * time13	sleep deprivation - naps * KSS5B - KSS1A	2.1875	0.641	0.93161	3.44339	957.0	3.4138	< .001		
homeostatic_pressure1 * time14	sleep deprivation - naps * KSS5C - KSS1A	2.4375	0.641	1.18161	3.69339	957.0	3.8040	< .001		
homeostatic_pressure1 * time15	sleep deprivation - naps * KSS6A - KSS1A	1.6875	0.641	0.43161	2.94339	957.0	2.6335	0.009		
homeostatic_pressure1 * time16	sleep deprivation - naps * KSS6B - KSS1A	2.6250	0.641	1.36911	3.88089	957.0	4.0966	< .001		
homeostatic_pressure1 * time17	sleep deprivation - naps * KSS6C - KSS1A	2.6366	0.646	1.36997	3.90320	957.1	4.0799	< .001		
homeostatic_pressure1 * time18	sleep deprivation - naps * KSS7A - KSS1A	2.2500	0.641	0.99411	3.50589	957.0	3.5114	< .001		
homeostatic_pressure1 * time19	sleep deprivation - naps * KSS7B - KSS1A	2.5000	0.641	1.24411	3.75589	957.0	3.9015	< .001		
homeostatic_pressure1 * time20	sleep deprivation - naps * KSS7C - KSS1A	2.9398	0.646	1.67315	4.20638	957.1	4.5490	< .001		
homeostatic_pressure1 * time21	sleep deprivation - naps * KSS8A - KSS1A	2.7500	0.641	1.49411	4.00589	957.0	4.2917	< .001		
homeostatic_pressure1 * time22	sleep deprivation - naps * KSS8B - KSS1A	3.5625	0.641	2.30661	4.81839	957.0	5.5597	< .001		
homeostatic_pressure1 * time23	sleep deprivation - naps * KSS8C - KSS1A	3.0625	0.641	1.80661	4.31839	957.0	4.7794	< .001		
homeostatic_pressure1 * time24	sleep deprivation - naps * KSS9A - KSS1A	1.9375	0.641	0.68161	3.19339	957.0	3.0237	0.003		
homeostatic_pressure1 * time25	sleep deprivation - naps * KSS9B - KSS1A	3.5625	0.641	2.30661	4.81839	957.0	5.5597	< .001		
homeostatic_pressure1 * time26	sleep deprivation - naps * KSS9C - KSS1A	3.4375	0.641	2.18161	4.69339	957.0	5.3646	< .001		
homeostatic_pressure1 * time27	sleep deprivation - naps * KSS10A - KSS1A	2.1250	0.641	0.86911	3.38089	957.0	3.3163	< .001		
homeostatic_pressure1 * time28	sleep deprivation - naps * KSS10B - KSS1A	2.8750	0.641	1.61911	4.13089	957.0	4.4868	< .001		
homeostatic_pressure1 * time29	sleep deprivation - naps * KSS10C - KSS1A	2.8125	0.641	1.55661	4.06839	957.0	4.3892	< .001		
homeostatic_pressure1 * time30	sleep deprivation - naps * KSS11A - KSS1A	1.6875	0.641	0.43161	2.94339	957.0	2.6335	0.009		
homeostatic_pressure1 * time31	sleep deprivation - naps * KSS11B - KSS1A	3.5000	0.641	2.24411	4.75589	957.0	5.4622	< .001		
homeostatic_pressure1 * time32	sleep deprivation - naps * KSS11C - KSS1A	3.5625	0.641	2.30661	4.81839	957.0	5.5597	< .001		

Mixed Model	
Model Info	
Info	
Estimate	Linear mixed model fit by REML
Call	KSS_score ~ 1 + homeostatic_pressure + time + homeostatic_pressure:time+(1 subject)
AIC	3663.606
BIC	4026.436
LogLikel.	-1776.598
R-squared Marginal	0.538
R-squared Conditional	0.671
Converged	yes
Optimizer	bobyqa

Model Results				
Fixed Effect Omnibus tests				
	F	Num df	Den df	p
homeostatic_pressure	35.73	1	30.0	< .001
time	30.52	32	957.0	< .001
homeostatic_pressure * time	7.28	32	957.0	< .001
Note. Satterthwaite method for degrees of freedom				
Random Components				
Groups	Name	SD	Variance	ICC
subject	(Intercept)	0.814	0.662	0.287
Residual		1.282	1.642	
Note. Number of Obs: 1053 , groups: subject 32				

■ Analyses de l'effet « temps », groupe Naps + DL :

Tests post hoc							
Comparaisons post hoc - Time							
Comparaison							
Time		Time	Différence moyenne	Erreur standard	ddl	t	ptukey
1A	-	1o	0.7143	0.569	13.0	1.2561	1.000
	-	1B	0.6429	0.541	13.0	1.1889	1.000
	-	2A	0.4286	0.374	13.0	1.1466	1.000
	-	2o	0.6429	0.608	13.0	1.0578	1.000
	-	2B	0.6429	0.541	13.0	1.1889	1.000
	-	3A	-0.2143	0.505	13.0	-0.4246	1.000
	-	3o	0.5714	0.453	13.0	1.2601	1.000
	-	3B	0.8571	0.490	13.0	1.7489	0.986
	-	4A	0.2857	0.529	13.0	0.5405	1.000
	-	4o	0.7143	0.485	13.0	1.4720	0.998
	-	4B	0.7143	0.507	13.0	1.4077	0.999
	-	5A	-0.7143	0.539	13.0	-1.3254	1.000
	-	5o	-0.4286	0.693	13.0	-0.6183	1.000
	-	5B	-0.6429	0.692	13.0	-0.9287	1.000
	-	6A	-1.3571	0.541	13.0	-2.5098	0.759
	-	6o	-1.0000	0.620	13.0	-1.6125	0.994
	-	6B	-1.3571	0.626	13.0	-2.1696	0.902
	-	7A	-2.5000	0.709	13.0	-3.5259	0.270
	-	7o	-2.5000	0.954	13.0	-2.6217	0.701
	-	7B	-2.0714	0.886	13.0	-2.3375	0.838
	-	8A	-1.0000	0.457	13.0	-2.1885	0.895
	-	8o	0.0714	0.808	13.0	0.0884	1.000
	-	8B	0.1429	0.733	13.0	0.1950	1.000
	-	9A	-0.7143	0.714	13.0	-1.0000	1.000
	-	9o	0.2857	0.650	13.0	0.4397	1.000
	-	9B	0.2857	0.675	13.0	0.4235	1.000
	-	10A	-0.3571	0.427	13.0	-0.8360	1.000
	-	10o	0.3571	0.651	13.0	0.5483	1.000
	-	10B	0.2143	0.576	13.0	0.3721	1.000
	-	11A	-0.6429	0.608	13.0	-1.0578	1.000
	-	11o	-0.1429	0.645	13.0	-0.2215	1.000
	-	11B	-0.5000	0.669	13.0	-0.7472	1.000

Anova pour mesures répétées							
Effets intra-sujets							
	Correction de la spécificité	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F	p	
Time	Aucune	381	32	11.89	8.36	< .001	
	Greenhouse-Geisser	381	32.0	11.89	8.36	< .001	
Résidu	Aucune	592	416	1.42			
	Greenhouse-Geisser	592	416.0	1.42			

Note. Somme des carrés de type 3

Effets inter-sujets						
	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F	p	
Résidu	341	13	26.2			

Note. Somme des carrés de type 3

4. Analyse statistique : SART

- Analyses de l'effet « condition lumineuse », groupes SD + DL *versus* SD + BEL :

Fixed Effects Parameter Estimates										
Names	Effect	Estimate	SE	95% Confidence Interval		df	t	p		
(Intercept)	(Intercept)	69.3153	1.21	66.94	71.6871	30.0	57.2815	< .001		
light_condition1	dim light - blue enriched	1.1193	2.42	-3.62	5.8628	30.0	0.4625	0.647		
time1	SART2 - SART1	0.5000	1.30	-2.04	3.0421	300.0	0.3855	0.700		
time2	SART3 - SART1	-0.0937	1.30	-2.64	2.4484	300.0	-0.0723	0.942		
time3	SART4 - SART1	0.1563	1.30	-2.39	2.6984	300.0	0.1205	0.904		
time4	SART5 - SART1	-0.4687	1.30	-3.01	2.0734	300.0	-0.3614	0.718		
time5	SART6 - SART1	-5.8437	1.30	-8.39	-3.3016	300.0	-4.5055	< .001		
time6	SART7 - SART1	-8.4687	1.30	-11.01	-5.9266	300.0	-6.5293	< .001		
time7	SART8 - SART1	-5.6250	1.30	-8.17	-3.0829	300.0	-4.3368	< .001		
time8	SART9 - SART1	-6.2812	1.30	-8.82	-3.7391	300.0	-4.8428	< .001		
time9	SART10 - SART1	-2.9375	1.30	-5.48	-0.3954	300.0	-2.2648	0.024		
time10	SART11 - SART1	-1.8437	1.30	-4.39	0.6984	300.0	-1.4215	0.156		
light_condition1 * time1	dim light - blue enriched * SART2 - SART1	0.5000	2.59	-4.58	5.5843	300.0	0.1927	0.847		
light_condition1 * time2	dim light - blue enriched * SART3 - SART1	0.6875	2.59	-4.40	5.7718	300.0	0.2650	0.791		
light_condition1 * time3	dim light - blue enriched * SART4 - SART1	-0.6875	2.59	-5.77	4.3968	300.0	-0.2650	0.791		
light_condition1 * time4	dim light - blue enriched * SART5 - SART1	0.9375	2.59	-4.15	6.0218	300.0	0.3614	0.718		
light_condition1 * time5	dim light - blue enriched * SART6 - SART1	-5.0625	2.59	-10.15	0.0218	300.0	-1.9516	0.052		
light_condition1 * time6	dim light - blue enriched * SART7 - SART1	-0.3125	2.59	-5.40	4.7718	300.0	-0.1205	0.904		
light_condition1 * time7	dim light - blue enriched * SART8 - SART1	0.1250	2.59	-4.96	5.2093	300.0	0.0482	0.962		
light_condition1 * time8	dim light - blue enriched * SART9 - SART1	-3.8125	2.59	-8.90	1.2718	300.0	-1.4697	0.143		
light_condition1 * time9	dim light - blue enriched * SART10 - SART1	2.0000	2.59	-3.08	7.0843	300.0	0.7710	0.441		
light_condition1 * time10	dim light - blue enriched * SART11 - SART1	-4.0625	2.59	-9.15	1.0218	300.0	-1.5661	0.118		

Mixed Model	
Model Info	
Info	
Estimate	Linear mixed model fit by REML
Call	accuracy_score ~ 1 + light_condition + time + light_condition:time+(1 subject)
AIC	2277.736
BIC	2313.399
LogLikel.	-1086.336
R-squared Marginal	0.133
R-squared Conditional	0.673
Converged	yes
Optimizer	bobyqa

Model Results				
Fixed Effect Omnibus tests				
	F	Num df	Den df	p
light_condition	0.214	1	30.0	0.647
time	12.205	10	300.0	< .001
light_condition * time	1.615	10	300.0	0.102
Note. Satterthwaite method for degrees of freedom				
Random Components				
Groups	Name	SD	Variance	ICC
subject	(Intercept)	6.66	44.4	0.623
Residual		5.19	26.9	
Note. Number of Obs: 352 , groups: subject 32				

■ Analyses de l'effet « condition lumineuse », groupes Naps + DL versus Naps + SD

Fixed Effects Parameter Estimates										
Names	Effect	Estimate	SE	95% Confidence Interval		df	t	p		
				Lower	Upper					
(Intercept)	(Intercept)	72.588	0.481	71.646	73.530	30.0	151.053	< .001		
light_condition1	dim light - blue enriched	-0.847	0.961	-2.730	1.037	30.0	-0.881	0.385		
time1	II - I	0.562	0.847	-1.098	2.223	300.0	0.664	0.507		
time2	III - I	1.031	0.847	-0.630	2.692	300.0	1.217	0.225		
time3	IV - I	1.406	0.847	-0.255	3.067	300.0	1.659	0.098		
time4	V - I	0.250	0.847	-1.411	1.911	300.0	0.295	0.768		
time5	VI - I	-1.219	0.847	-2.880	0.442	300.0	-1.438	0.151		
time6	VII - I	-3.375	0.847	-5.036	-1.714	300.0	-3.983	< .001		
time7	VIII - I	0.937	0.847	-0.723	2.598	300.0	1.106	0.269		
time8	IX - I	0.687	0.847	-0.973	2.348	300.0	0.811	0.418		
time9	X - I	1.875	0.847	0.214	3.536	300.0	2.213	0.028		
time10	XI - I	1.219	0.847	-0.442	2.880	300.0	1.438	0.151		
light_condition1 * time1	dim light - blue enriched * II - I	1.750	1.695	-1.572	5.072	300.0	1.033	0.303		
light_condition1 * time2	dim light - blue enriched * III - I	2.437	1.695	-0.884	5.759	300.0	1.438	0.151		
light_condition1 * time3	dim light - blue enriched * IV - I	1.562	1.695	-1.759	4.884	300.0	0.922	0.357		
light_condition1 * time4	dim light - blue enriched * V - I	1.375	1.695	-1.947	4.697	300.0	0.811	0.418		
light_condition1 * time5	dim light - blue enriched * VI - I	2.937	1.695	-0.384	6.259	300.0	1.733	0.084		
light_condition1 * time6	dim light - blue enriched * VII - I	-2.250	1.695	-5.572	1.072	300.0	-1.328	0.185		
light_condition1 * time7	dim light - blue enriched * VIII - I	1.500	1.695	-1.822	4.822	300.0	0.885	0.377		
light_condition1 * time8	dim light - blue enriched * IX - I	0.250	1.695	-3.072	3.572	300.0	0.148	0.883		
light_condition1 * time9	dim light - blue enriched * X - I	1.500	1.695	-1.822	4.822	300.0	0.885	0.377		
light_condition1 * time10	dim light - blue enriched * XI - I	0.937	1.695	-2.384	4.259	300.0	0.553	0.581		

Mixed Model	
Model Info	
Info	
Estimate	Linear mixed model fit by REML
Call	accuracy_score ~ 1 + light_condition + time + light_condition:time+(1 subject)
AIC	1946.223
BIC	2002.606
LogLikel.	-930.939
R-squared Marginal	0.127
R-squared Conditional	0.438
Converged	yes
Optimizer	bobyqa

Model Results				
Fixed Effect Omnibus tests				
	F	Num df	Den df	p
light_condition	0.776	1	30.0	0.385
time	6.019	10	300.0	< .001
light_condition * time	1.349	10	300.0	0.204
Note. Satterthwaite method for degrees of freedom				

Random Components				
Groups	Name	SD	Variance	ICC
subject	(Intercept)	2.52	6.35	0.356
Residual		3.39	11.49	
Note. Number of Obs: 352 , groups: subject 32				

■ Analyses de l'effet « pression homéostasique de sommeil », groupes SD + DL *versus* Naps

+ DL :

Fixed Effects Parameter Estimates											
				95% Confidence Interval							
Names	Effect	Estimate	SE	Lower	Upper	df	t			p	
(Intercept)	(Intercept)	71.020	0.661	69.73	72.315	30.0	107.514			< .001	
homeostatic_pressure1	sleep deprivation - naps	-2.290	1.321	-4.88	0.300	30.0	-1.733			0.093	
time1	b - a	1.094	1.217	-1.29	3.478	300.0	0.899			0.369	
time2	c - a	1.250	1.217	-1.13	3.635	300.0	1.027			0.305	
time3	d - a	1.000	1.217	-1.38	3.385	300.0	0.822			0.412	
time4	e - a	0.469	1.217	-1.92	2.853	300.0	0.385			0.700	
time5	f - a	-4.062	1.217	-6.45	-1.678	300.0	-3.339			< .001	
time6	g - a	-6.562	1.217	-8.95	-4.178	300.0	-5.394			< .001	
time7	h - a	-1.937	1.217	-4.32	0.447	300.0	-1.592			0.112	
time8	i - a	-3.687	1.217	-6.07	-1.303	300.0	-3.031			0.003	
time9	j - a	0.344	1.217	-2.04	2.728	300.0	0.283			0.778	
time10	k - a	-1.094	1.217	-3.48	1.291	300.0	-0.899			0.369	
homeostatic_pressure1 * time1	sleep deprivation - naps * b - a	-0.687	2.433	-5.46	4.082	300.0	-0.283			0.778	
homeostatic_pressure1 * time2	sleep deprivation - naps * c - a	-2.000	2.433	-6.77	2.769	300.0	-0.822			0.412	
homeostatic_pressure1 * time3	sleep deprivation - naps * d - a	-2.375	2.433	-7.14	2.394	300.0	-0.976			0.330	
homeostatic_pressure1 * time4	sleep deprivation - naps * e - a	-0.937	2.433	-5.71	3.832	300.0	-0.385			0.700	
homeostatic_pressure1 * time5	sleep deprivation - naps * f - a	-8.625	2.433	-13.39	-3.856	300.0	-3.544			< .001	
homeostatic_pressure1 * time6	sleep deprivation - naps * g - a	-4.125	2.433	-8.89	0.644	300.0	-1.695			0.091	
homeostatic_pressure1 * time7	sleep deprivation - naps * h - a	-7.250	2.433	-12.02	-2.481	300.0	-2.979			0.003	
homeostatic_pressure1 * time8	sleep deprivation - naps * i - a	-9.000	2.433	-13.77	-4.231	300.0	-3.698			< .001	
homeostatic_pressure1 * time9	sleep deprivation - naps * j - a	-4.562	2.433	-9.33	0.207	300.0	-1.875			0.062	
homeostatic_pressure1 * time10	sleep deprivation - naps * k - a	-5.562	2.433	-10.33	-0.793	300.0	-2.286			0.023	

Mixed Model	
Model Info	
Info	
Estimate	Linear mixed model fit by REML
Call	accuracy_score ~ 1 + homeostatic_pressure + time + homeostatic_pressure:time+(1 subject)
AIC	2198.079
BIC	2238.720
LogLikel.	-1048.997
R-squared Marginal	0.215
R-squared Conditional	0.476
Converged	yes
Optimizer	bobyqa

Model Results				
Fixed Effect Omnibus tests				
	F	Num df	Den df	p
homeostatic_pressure	3.00	1	30.0	0.093
time	8.97	10	300.0	< .001
homeostatic_pressure * tin	3.47	10	300.0	< .001
Note. Satterthwaite method for degrees of freedom				

Random Components				
Groups	Name	SD	Variance	ICC
subject	(Intercept)	3.44	11.8	0.333
Residual		4.87	23.7	
Note. Number of Obs: 352 , groups: subject 32				

■ Analyses de l'effet « temps », groupe Naps + DL :

Tests post hoc										
Comparaisons post hoc - Time										
Comparaison										
Time		Time	Différence moyenne	Erreur standard	ddl	t	p	ptukey		
I	-	II	-1.4375	0.811	15.0	-1.772	0.097	0.779		
	-	III	-2.2500	1.160	15.0	-1.939	0.071	0.687		
	-	IV	-2.1875	1.432	15.0	-1.527	0.148	0.889		
	-	V	-0.9375	1.223	15.0	-0.767	0.455	0.999		
	-	VI	-0.2500	1.328	15.0	-0.188	0.853	1.000		
	-	VII	4.5000	2.172	15.0	2.072	0.056	0.610		
	-	VIII	-1.6875	1.128	15.0	-1.496	0.155	0.900		
	-	IX	-0.8125	1.342	15.0	-0.605	0.554	1.000		
	-	X	-2.6250	1.452	15.0	-1.808	0.091	0.760		
	-	XI	-1.6875	1.139	15.0	-1.481	0.159	0.905		

Anova pour mesures répétées							
Effets intra-sujets							
	Correction de la spécificité	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F	p	
Time	Aucune	614	10	61.4	4.12	< .001	
	Greenhouse-Geisser	614	2.28	268.7	4.12	0.021	
Résidu	Aucune	2233	150	14.9			
	Greenhouse-Geisser	2233	34.26	65.2			
Note. Somme des carrés de type 3							

Effets inter-sujets						
	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F	p	
Résidu	1668	15	111			
Note. Somme des carrés de type 3						

5. Analyse statistique : PVT

5.1 Temps de réaction

- Analyses de l'effet « condition lumineuse », groupes SD + DL *versus* SD + BEL :

Fixed Effects Parameter Estimates					95% Confidence Interval					
Names	Effect	Estimate	SE	Lower	Upper	df	t	p		
(Intercept)	(Intercept)	408.98	14.0	381.641	436.3	30.0	29.3176	< .001		
light_condition1	dim light - blue enriched	32.44	27.9	-22.246	87.1	30.0	1.1626	0.254		
time1	PVT2 - PVT1	-5.22	25.1	-54.355	43.9	300.0	-0.2081	0.835		
time2	PVT3 - PVT1	-10.66	25.1	-59.803	38.5	300.0	-0.4254	0.671		
time3	PVT4 - PVT1	-8.54	25.1	-57.681	40.6	300.0	-0.3407	0.734		
time4	PVT5 - PVT1	20.38	25.1	-28.755	69.5	300.0	0.8130	0.417		
time5	PVT6 - PVT1	67.88	25.1	18.742	117.0	300.0	2.7075	0.007		
time6	PVT7 - PVT1	170.75	25.1	121.610	219.9	300.0	6.8105	< .001		
time7	PVT8 - PVT1	81.85	25.1	32.712	131.0	300.0	3.2647	0.001		
time8	PVT9 - PVT1	112.09	25.1	62.950	161.2	300.0	4.4708	< .001		
time9	PVT10 - PVT1	50.13	25.1	0.988	99.3	300.0	1.9994	0.046		
time10	PVT11 - PVT1	70.28	25.1	21.142	119.4	300.0	2.8032	0.005		
light_condition1 * time1	dim light - blue enriched * PVT2 - PVT1	-11.72	50.1	-109.998	86.6	300.0	-0.2337	0.815		
light_condition1 * time2	dim light - blue enriched * PVT3 - PVT1	-7.35	50.1	-105.625	90.9	300.0	-0.1465	0.884		
light_condition1 * time3	dim light - blue enriched * PVT4 - PVT1	-6.81	50.1	-105.086	91.5	300.0	-0.1358	0.892		
light_condition1 * time4	dim light - blue enriched * PVT5 - PVT1	3.42	50.1	-94.857	101.7	300.0	0.0682	0.946		
light_condition1 * time5	dim light - blue enriched * PVT6 - PVT1	43.74	50.1	-54.539	142.0	300.0	0.8723	0.384		
light_condition1 * time6	dim light - blue enriched * PVT7 - PVT1	93.37	50.1	-4.910	191.6	300.0	1.8621	0.064		
light_condition1 * time7	dim light - blue enriched * PVT8 - PVT1	53.59	50.1	-44.683	151.9	300.0	1.0688	0.286		
light_condition1 * time8	dim light - blue enriched * PVT9 - PVT1	1.40	50.1	-96.875	99.7	300.0	0.0280	0.978		
light_condition1 * time9	dim light - blue enriched * PVT10 - PVT1	35.81	50.1	-62.470	134.1	300.0	0.7141	0.476		
light_condition1 * time10	dim light - blue enriched * PVT11 - PVT1	44.94	50.1	-53.341	143.2	300.0	0.8962	0.371		

Model Results				
Fixed Effect Omnibus tests				
	F	Num df	Den df	p
light_condition	1.352	1	30.0	0.254
time	10.727	10	300.0	< .001
light_condition * time	0.903	10	300.0	0.530
Note. Satterthwaite method for degrees of freedom				

Random Components				
Groups	Name	SD	Variance	ICC
subject	(Intercept)	72.9	5313	0.346
Residual		100.3	10057	
Note. Number of Obs: 352 , groups: subject 32				

Model Info	
Info	
Estimate	Linear mixed model fit by REML
Call	mean_RT ~ 1 + light_condition + time + light_condition:time+(1 subject)
AIC	4329.653
BIC	4237.072
LogLikel.	-2048.172
R-squared Marginal	0.190
R-squared Conditional	0.470
Converged	yes
Optimizer	bobyqa

■ Analyses de l'effet « condition lumineuse », groupes Naps + DL *versus* Naps + SD :

Fixed Effects Parameter Estimates										
				95% Confidence Interval						
Names	Effect	Estimate	SE	Lower	Upper	df	t		p	
(Intercept)	(Intercept)	362.9813	10.4	342.56	383.41	29.0	34.83025		< .001	
light_condition1	dim light - blue enriched	10.1661	20.8	-30.69	51.02	29.0	0.48775		0.629	
time1	PVT2 - PVT1	-19.5872	16.7	-52.29	13.11	290.0	-1.17402		0.241	
time2	PVT3 - PVT1	-19.5572	16.7	-52.26	13.14	290.0	-1.17222		0.242	
time3	PVT4 - PVT1	-23.6506	16.7	-56.35	9.05	290.0	-1.41757		0.157	
time4	PVT5 - PVT1	-0.0261	16.7	-32.73	32.67	290.0	-0.00157		0.999	
time5	PVT6 - PVT1	30.7612	16.7	-1.94	63.46	290.0	1.84376		0.066	
time6	PVT7 - PVT1	72.1570	16.7	39.46	104.86	290.0	4.32494		< .001	
time7	PVT8 - PVT1	-0.0113	16.7	-32.71	32.69	290.0	-6.77e-4		0.999	
time8	PVT9 - PVT1	-6.7169	16.7	-39.42	25.98	290.0	-0.40260		0.688	
time9	PVT10 - PVT1	-20.7107	16.7	-53.41	11.99	290.0	-1.24136		0.215	
time10	PVT11 - PVT1	-12.5555	16.7	-45.26	20.14	290.0	-0.75255		0.452	
light_condition1 * time1	dim light - blue enriched * PVT2 - PVT1	17.4106	33.4	-47.99	82.81	290.0	0.52178		0.602	
light_condition1 * time2	dim light - blue enriched * PVT3 - PVT1	5.1106	33.4	-60.29	70.51	290.0	0.15316		0.878	
light_condition1 * time3	dim light - blue enriched * PVT4 - PVT1	7.7623	33.4	-57.64	73.16	290.0	0.23263		0.816	
light_condition1 * time4	dim light - blue enriched * PVT5 - PVT1	15.5899	33.4	-49.81	80.99	290.0	0.46721		0.641	
light_condition1 * time5	dim light - blue enriched * PVT6 - PVT1	18.2243	33.4	-47.18	83.62	290.0	0.54616		0.585	
light_condition1 * time6	dim light - blue enriched * PVT7 - PVT1	77.7034	33.4	12.30	143.10	290.0	2.32869		0.021	
light_condition1 * time7	dim light - blue enriched * PVT8 - PVT1	20.2579	33.4	-45.14	85.66	290.0	0.60711		0.544	
light_condition1 * time8	dim light - blue enriched * PVT9 - PVT1	15.3336	33.4	-50.07	80.73	290.0	0.45953		0.646	
light_condition1 * time9	dim light - blue enriched * PVT10 - PVT1	4.9371	33.4	-60.46	70.34	290.0	0.14796		0.882	
light_condition1 * time10	dim light - blue enriched * PVT11 - PVT1	7.1774	33.4	-58.22	72.58	290.0	0.21510		0.830	

Mixed Model	
Model Info	
Info	
Estimate	Linear mixed model fit by REML
Call	mean_RT ~ 1 + light_condition + time + light_condition:time+(1 subject)
AIC	3913.343
BIC	3837.493
LogLikel.	-1848.764
R-squared Marginal	0.105
R-squared Conditional	0.470
Converged	yes
Optimizer	bobyqa

Model Results				
Fixed Effect Omnibus tests				
	F	Num df	Den df	p
light_condition	0.238	1	29.0	0.629
time	5.827	10	290.0	< .001
light_condition * time	0.801	10	290.0	0.628
Note. Satterthwaite method for degrees of freedom				

Random Components				
Groups	Name	SD	Variance	ICC
subject	(Intercept)	54.5	2971	0.408
Residual		65.7	4310	
Note. Number of Obs: 341 , groups: subject 31				

■ Analyses de l'effet « pression homéostatique de sommeil », groupes SD + DL *versus* Naps

+ DL :

Fixed Effects Parameter Estimates									
				95% Confidence Interval					
Names	Effect	Estimate	SE	Lower	Upper	df	t	p	
(Intercept)	(Intercept)	396.633	15.4	366.510	426.8	29.0	25.80728	< .001	
homeostatic_pressure1	sleep deprivation - naps	57.137	30.7	-3.109	117.4	29.0	1.85882	0.073	
time1	II - I	-10.979	27.2	-64.350	42.4	290.0	-0.40320	0.687	
time2	III - I	-15.670	27.2	-69.040	37.7	290.0	-0.57545	0.565	
time3	IV - I	-15.858	27.2	-69.229	37.5	290.0	-0.58236	0.561	
time4	V - I	14.932	27.2	-38.439	68.3	290.0	0.54834	0.584	
time5	VI - I	64.812	27.2	11.441	118.2	290.0	2.38012	0.018	
time6	VII - I	164.221	27.2	110.850	217.6	290.0	6.03079	< .001	
time7	VIII - I	59.383	27.2	6.012	112.8	290.0	2.18076	0.030	
time8	IX - I	56.870	27.2	3.499	110.2	290.0	2.08847	0.038	
time9	X - I	24.894	27.2	-28.476	78.3	290.0	0.91421	0.361	
time10	XI - I	41.891	27.2	-11.479	95.3	290.0	1.53840	0.125	
homeostatic_pressure1 * t	sleep deprivation - naps * II - I	-0.195	54.5	-106.936	106.5	290.0	-0.00357	0.997	
homeostatic_pressure1 * t	sleep deprivation - naps * III - I	2.664	54.5	-104.077	109.4	290.0	0.04892	0.961	
homeostatic_pressure1 * t	sleep deprivation - naps * IV - I	7.823	54.5	-98.918	114.6	290.0	0.14364	0.886	
homeostatic_pressure1 * t	sleep deprivation - naps * V - I	14.326	54.5	-92.416	121.1	290.0	0.26304	0.793	
homeostatic_pressure1 * t	sleep deprivation - naps * VI - I	49.877	54.5	-56.865	156.6	290.0	0.91582	0.361	
homeostatic_pressure1 * t	sleep deprivation - naps * VII - I	106.424	54.5	-0.317	213.2	290.0	1.95415	0.052	
homeostatic_pressure1 * t	sleep deprivation - naps * VIII - I	98.531	54.5	-8.211	205.3	290.0	1.80920	0.071	
homeostatic_pressure1 * t	sleep deprivation - naps * IX - I	111.840	54.5	5.099	218.6	290.0	2.05358	0.041	
homeostatic_pressure1 * t	sleep deprivation - naps * X - I	86.273	54.5	-20.468	193.0	290.0	1.58413	0.114	
homeostatic_pressure1 * t	sleep deprivation - naps * XI - I	101.716	54.5	-5.026	208.5	290.0	1.86769	0.063	

Mixed Model	
Model Info	
Info	
Estimate	Linear mixed model fit by REML
Call	mean_RT ~ 1 + homeostatic_pressure + time + homeostatic_pressure:time+(1 subject)
AIC	4241.162
BIC	4144.162
LogLikel.	-2002.098
R-squared Marginal	0.182
R-squared Conditional	0.471
Converged	yes
Optimizer	bobyqa

Model Results				
Fixed Effect Omnibus tests				
	F	Num df	Den df	p
homeostatic_pressure	3.46	1	29.0	0.073
time	7.47	10	290.0	< .001
homeostatic_pressure * t	1.59	10	290.0	0.109
Note. Satterthwaite method for degrees of freedom				
Random Components				
Groups	Name	SD	Variance	ICC
subject	(Intercept)	79.2	6271	0.353
Residual		107.2	11481	
Note. Number of Obs: 341 , groups: subject 31				

- Analyses de l'effet « temps », groupe Naps + DL :

Tests post hoc									
Comparaisons post hoc - Time									
Comparaison									
Time		Time	Différence moyenne	Erreur standard	ddl	t	ptukey		
I	-	II	10.882	8.88	14.0	1.2257	0.968		
	-	III	17.002	15.40	14.0	1.1042	0.984		
	-	IV	19.769	16.68	14.0	1.1851	0.974		
	-	V	-7.769	19.64	14.0	-0.3955	1.000		
	-	VI	-39.873	19.44	14.0	-2.0506	0.623		
	-	VII	-111.009	58.20	14.0	-1.9074	0.705		
	-	VIII	-10.118	8.62	14.0	-1.1738	0.976		
	-	IX	-0.950	18.37	14.0	-0.0517	1.000		
	-	X	18.242	15.64	14.0	1.1664	0.977		
	-	XI	8.967	16.04	14.0	0.5589	1.000		

Anova pour mesures répétées							
Effets intra-sujets							
	Correction de la spécificité	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F	p	
Time	Aucune	217049	10	21705	2.88	0.003	
	Greenhouse-Geisser	217049	1.29	167658	2.88	0.099	
Résidu	Aucune	1.05e+6	140	7525			
	Greenhouse-Geisser	1.05e+6	18.12	58130			
Note. Somme des carrés de type 3							

Effets inter-sujets							
	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F	p		
Résidu	757037	14	54074				
Note. Somme des carrés de type 3							

5.2 Lapses

■ Analyses de l'effet « condition lumineuse », groupes SD + DL versus SD + BEL :

Fixed Effects Parameter Estimates									
Names	Effect	Estimate	SE	95% Confidence Interval		df	t	p	
(Intercept)	(Intercept)	3.534	0.429	2.692	4.376	30.0	8.229	< .001	
light_condition1	dim light - blue enriched	0.761	0.859	-0.922	2.445	30.0	0.886	0.382	
time1	PVT2 - PVT1	-0.188	0.672	-1.505	1.130	300.0	-0.279	0.780	
time2	PVT3 - PVT1	-0.656	0.672	-1.973	0.661	300.0	-0.976	0.330	
time3	PVT4 - PVT1	-0.500	0.672	-1.817	0.817	300.0	-0.744	0.457	
time4	PVT5 - PVT1	1.094	0.672	-0.223	2.411	300.0	1.627	0.105	
time5	PVT6 - PVT1	2.812	0.672	1.495	4.130	300.0	4.185	< .001	
time6	PVT7 - PVT1	4.531	0.672	3.214	5.848	300.0	6.742	< .001	
time7	PVT8 - PVT1	3.156	0.672	1.839	4.473	300.0	4.696	< .001	
time8	PVT9 - PVT1	3.969	0.672	2.652	5.286	300.0	5.905	< .001	
time9	PVT10 - PVT1	2.062	0.672	0.745	3.380	300.0	3.069	0.002	
time10	PVT11 - PVT1	2.312	0.672	0.995	3.630	300.0	3.441	< .001	
light_condition1 * time1	dim light - blue enriched * PVT2 - PVT1	0.250	1.344	-2.384	2.884	300.0	0.186	0.853	
light_condition1 * time2	dim light - blue enriched * PVT3 - PVT1	-0.188	1.344	-2.822	2.447	300.0	-0.139	0.889	
light_condition1 * time3	dim light - blue enriched * PVT4 - PVT1	0.250	1.344	-2.384	2.884	300.0	0.186	0.853	
light_condition1 * time4	dim light - blue enriched * PVT5 - PVT1	0.562	1.344	-2.072	3.197	300.0	0.418	0.676	
light_condition1 * time5	dim light - blue enriched * PVT6 - PVT1	1.500	1.344	-1.134	4.134	300.0	1.116	0.265	
light_condition1 * time6	dim light - blue enriched * PVT7 - PVT1	1.312	1.344	-1.322	3.947	300.0	0.976	0.330	
light_condition1 * time7	dim light - blue enriched * PVT8 - PVT1	1.562	1.344	-1.072	4.197	300.0	1.162	0.246	
light_condition1 * time8	dim light - blue enriched * PVT9 - PVT1	-0.313	1.344	-2.947	2.322	300.0	-0.232	0.816	
light_condition1 * time9	dim light - blue enriched * PVT10 - PVT1	0.875	1.344	-1.759	3.509	300.0	0.651	0.516	
light_condition1 * time10	dim light - blue enriched * PVT11 - PVT1	1.875	1.344	-0.759	4.509	300.0	1.395	0.164	

Mixed Model	
Model Info	
Info	
Estimate	Linear mixed model fit by REML
Call	lapses ~ 1 + light_condition + time + light_condition:time+(1 subject)
AIC	1790.658
BIC	1856.764
LogLikel.	-858.018
R-squared Marginal	0.214
R-squared Conditiona	0.545
Converged	yes
Optimizer	bobyqa

Model Results				
Fixed Effect Omnibus tests				
	F	Num df	Den df	p
light_condition	0.786	1	30.0	0.382
time	15.161	10	300.0	< .001
light_condition * tim	0.653	10	300.0	0.768
Note. Satterthwaite method for degrees of freedom				
Random Components				
Groups	Name	SD	Variance	ICC
subject	(Intercept)	2.29	5.25	0.421
Residual		2.69	7.23	
Note. Number of Obs: 352 , groups: subject 32				

■ Analyses de l'effet « condition lumineuse », groupes Naps + DL *versus* Naps + SD :

Fixed Effects Parameter Estimates											
Names	Effect	Estimate	SE	95% Confidence Interval		df	t	p			
				Lower	Upper						
(Intercept)	(Intercept)	1.7453	0.366	1.0280	2.463	29.0	4.7688	< .001			
light_condition1	dim light - blue enriched	0.2064	0.732	-1.2281	1.641	29.0	0.2820	0.780			
time1	II - I	-0.5083	0.565	-1.6157	0.599	290.0	-0.8997	0.369			
time2	III - I	-0.5271	0.565	-1.6344	0.580	290.0	-0.9329	0.352			
time3	IV - I	-0.7458	0.565	-1.8532	0.362	290.0	-1.3201	0.188			
time4	V - I	0.5792	0.565	-0.5282	1.687	290.0	1.0251	0.306			
time5	VI - I	1.1771	0.565	0.0697	2.284	290.0	2.0834	0.038			
time6	VII - I	1.9375	0.565	0.8302	3.045	290.0	3.4293	< .001			
time7	VIII - I	0.6792	0.565	-0.4282	1.787	290.0	1.2021	0.230			
time8	IX - I	0.3312	0.565	-0.7761	1.439	290.0	0.5863	0.558			
time9	X - I	-0.8146	0.565	-1.9219	0.293	290.0	-1.4418	0.150			
time10	XI - I	0.0396	0.565	-1.0678	1.147	290.0	0.0701	0.944			
light_condition1 * time1	dim light - blue enriched * II - I	0.4833	1.130	-1.7314	2.698	290.0	0.4277	0.669			
light_condition1 * time2	dim light - blue enriched * III - I	-0.6792	1.130	-2.8939	1.536	290.0	-0.6011	0.548			
light_condition1 * time3	dim light - blue enriched * IV - I	-0.2417	1.130	-2.4564	1.973	290.0	-0.2139	0.831			
light_condition1 * time4	dim light - blue enriched * V - I	-0.0917	1.130	-2.3064	2.123	290.0	-0.0811	0.935			
light_condition1 * time5	dim light - blue enriched * VI - I	0.9792	1.130	-1.2355	3.194	290.0	0.8665	0.387			
light_condition1 * time6	dim light - blue enriched * VII - I	0.1250	1.130	-2.0897	2.340	290.0	0.1106	0.912			
light_condition1 * time7	dim light - blue enriched * VIII - I	0.1083	1.130	-2.1064	2.323	290.0	0.0959	0.924			
light_condition1 * time8	dim light - blue enriched * IX - I	0.5375	1.130	-1.6772	2.752	290.0	0.4757	0.635			
light_condition1 * time9	dim light - blue enriched * X - I	-0.5042	1.130	-2.7189	1.711	290.0	-0.4462	0.656			
light_condition1 * time10	dim light - blue enriched * XI - I	0.4542	1.130	-1.7605	2.669	290.0	0.4019	0.688			

Mixed Model	
Model Info	
Info	
Estimate	Linear mixed model fit by REML
Call	lapses ~ 1 + light_condition + time + light_condition:time+(1 subject)
AIC	1606.7513
BIC	1679.7134
LogLikel.	-769.8741
R-squared Marginal	0.0781
R-squared Conditional	0.4727
Converged	yes
Optimizer	bobyqa

Model Results				
Fixed Effect Omnibus tests				
	F	Num df	Den df	p
light_condition	0.0795	1	29.0	0.780
time	4.6265	10	290.0	< .001
light_condition * time	0.3716	10	290.0	0.958
Note. Satterthwaite method for degrees of freedom				

Random Components				
Groups	Name	SD	Variance	ICC
subject	(Intercept)	1.92	3.70	0.428
Residual		2.22	4.94	
Note. Number of Obs: 341 , groups: subject 31				

- Analyses de l'effet « pression homéostasique de sommeil », groupes SD + DL *versus* Naps
+ DL :

Fixed Effects Parameter Estimates										
Names	Effect	Estimate	SE	95% Confidence Interval		df	t	p		
(Intercept)	(Intercept)	2.882	0.456	1.987	3.776	29.0	6.3162	< .001		
homeostatic_pressure1	sleep deprivation - naps	2.066	0.912	0.278	3.855	29.0	2.2645	0.031		
time1	II - I	-0.165	0.700	-1.537	1.208	290.0	-0.2350	0.814		
time2	III - I	-0.808	0.700	-2.181	0.565	290.0	-1.1540	0.249		
time3	IV - I	-0.621	0.700	-1.994	0.752	290.0	-0.8863	0.376		
time4	V - I	0.954	0.700	-0.419	2.327	290.0	1.3622	0.174		
time5	VI - I	2.615	0.700	1.242	3.987	290.0	3.7326	< .001		
time6	VII - I	3.594	0.700	2.221	4.967	290.0	5.1304	< .001		
time7	VIII - I	2.335	0.700	0.963	3.708	290.0	3.3340	< .001		
time8	IX - I	2.206	0.700	0.833	3.579	290.0	3.1496	0.002		
time9	X - I	0.717	0.700	-0.656	2.090	290.0	1.0231	0.307		
time10	XI - I	1.758	0.700	0.385	3.131	290.0	2.5102	0.013		
homeostatic_pressure1 * time1	sleep deprivation - naps * II - I	0.204	1.401	-2.542	2.950	290.0	0.1457	0.884		
homeostatic_pressure1 * time2	sleep deprivation - naps * III - I	0.117	1.401	-2.629	2.862	290.0	0.0833	0.934		
homeostatic_pressure1 * time3	sleep deprivation - naps * IV - I	0.492	1.401	-2.254	3.237	290.0	0.3510	0.726		
homeostatic_pressure1 * time4	sleep deprivation - naps * V - I	0.842	1.401	-1.904	3.587	290.0	0.6008	0.548		
homeostatic_pressure1 * time5	sleep deprivation - naps * VI - I	1.896	1.401	-0.850	4.642	290.0	1.3532	0.177		
homeostatic_pressure1 * time6	sleep deprivation - naps * VII - I	3.187	1.401	0.442	5.933	290.0	2.2752	0.024		
homeostatic_pressure1 * time7	sleep deprivation - naps * VIII - I	3.204	1.401	0.458	5.950	290.0	2.2871	0.023		
homeostatic_pressure1 * time8	sleep deprivation - naps * IX - I	3.212	1.401	0.467	5.958	290.0	2.2931	0.023		
homeostatic_pressure1 * time9	sleep deprivation - naps * X - I	3.567	1.401	0.821	6.312	290.0	2.5459	0.011		
homeostatic_pressure1 * time10	sleep deprivation - naps * XI - I	2.983	1.401	0.238	5.729	290.0	2.1295	0.034		

Mixed Model	
Model Info	
Info	
Estimate	Linear mixed model fit by REML
Call	lapses ~ 1 + homeostatic_pressure + time + homeostatic_pressure:time+(1 subject)
AIC	1753.695
BIC	1817.177
LogLikel.	-838.606
R-squared Marginal	0.210
R-squared Conditional	0.551
Converged	yes
Optimizer	bobyqa

Model Results				
Fixed Effect Omnibus tests				
	F	Num df	Den df	p
homeostatic_pressure	5.13	1	29.0	0.031
time	8.66	10	290.0	< .001
homeostatic_pressure * tin	2.21	10	290.0	0.017
Note. Satterthwaite method for degrees of freedom				
Random Components				
Groups	Name	SD	Variance	ICC
subject	(Intercept)	2.40	5.76	0.431
Residual		2.76	7.60	
Note. Number of Obs: 341 , groups: subject 31				

■ Analyses de l'effet « temps », groupe Naps + DL :

Tests post hoc									
Comparaisons post hoc - Time									
Comparaison									
Time		Time	Différence moyenne	Erreur standard	ddl	t	ptukey		
I	-	II	0.2667	0.431	14.0	0.6193	1.000		
	-	III	0.8667	0.878	14.0	0.9876	0.993		
	-	IV	0.8667	0.867	14.0	1.0000	0.992		
	-	V	-0.5333	1.116	14.0	-0.4777	1.000		
	-	VI	-1.6667	1.013	14.0	-1.6459	0.839		
	-	VII	-2.0000	0.936	14.0	-2.1366	0.573		
	-	VIII	-0.7333	0.441	14.0	-1.6610	0.832		
	-	IX	-0.6000	1.077	14.0	-0.5571	1.000		
	-	X	1.0667	0.831	14.0	1.2840	0.957		
	-	XI	-0.2667	0.777	14.0	-0.3430	1.000		

Anova pour mesures répétées							
Effets intra-sujets							
	Correction de la spécificité	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F	p	
Time	Aucune	151	10	15.09	2.11	0.028	
	Greenhouse-Geisser	151	3.01	50.2	2.11	0.114	
Résidu	Aucune	1003	140	7.17			
	Greenhouse-Geisser	1003	42.14	23.8			
Note. Somme des carrés de type 3							

Effets inter-sujets						
	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F	p	
Résidu	897	14	64.1			
Note. Somme des carrés de type 3						

6. Analyses de sensibilité

7. Somnolence objective (KDT)

Privation

<i>(Intercept)</i>	0,72	[0,47 ; 0,97]	< 0,001
Lumière bleue	0,02	[-0,33 ; 0,37]	0,919
Soir	0,08	[0,00 ; 0,17]	0,046
Nuit	0,59	[0,51 ; 0,68]	< 0,001
Lendemain jour	0,45	[0,38 ; 0,53]	< 0,001
Lendemain soir	0,50	[0,40 ; 0,61]	< 0,001
L.B. x Soir	0,01	[-0,11 ; 0,12]	0,887
L.B. x Nuit	-0,22	[-0,33 ; -0,10]	< 0,001
L.B. x Lendemain jour	-0,07	[-0,17 ; 0,04]	0,199
L.B. x Lendemain soir	-0,17	[-0,32 ; -0,03]	0,021

Naps

<i>(Intercept)</i>	0,94	[0,70 ; 1,18]	< 0,001
Lumière bleue	-0,21	[-0,55 ; 0,13]	0,238
Soir	-0,01	[-0,08 ; 0,06]	0,801
Nuit	0,34	[0,27 ; 0,41]	< 0,001
Lendemain jour	0,18	[0,12 ; 0,24]	< 0,001
Lendemain soir	0,14	[0,05 ; 0,23]	0,002
L.B. x Soir	0,03	[-0,07 ; 0,13]	0,538
L.B. x Nuit	-0,15	[-0,24 ; -0,05]	0,003
L.B. x Lendemain jour	-0,08	[-0,17 ; 0,00]	0,065
L.B. x Lendemain soir	-0,08	[-0,20 ; 0,04]	0,200

Somnolence subjective (KSS)

Privation

<i>(Intercept)</i>	3,21	[2,65 ; 3,77]	< 0,001
Lumière bleue	0,11	[-0,68 ; 0,91]	0,779
Soir	1,50	[1,13 ; 1,87]	< 0,001
Nuit	4,28	[3,91 ; 4,66]	< 0,001
Lendemain jour	3,18	[2,85 ; 3,51]	< 0,001
Lendemain soir	3,40	[2,93 ; 3,87]	< 0,001
L.B. x Soir	0,03	[-0,49 ; 0,56]	0,908
L.B. x Nuit	-0,05	[-0,58 ; 0,47]	0,840
L.B. x Lendemain jour	0,53	[0,06 ; 1,00]	0,027
L.B. x Lendemain soir	-0,16	[-0,82 ; 0,51]	0,646

Naps

<i>(Intercept)</i>	2,94	[2,51 ; 3,37]	< 0,001
Lumière bleue	0,43	[-0,17 ; 1,04]	0,167
Soir	0,42	[0,10 ; 0,75]	0,012
Nuit	2,19	[1,86 ; 2,52]	< 0,001
Lendemain jour	0,61	[0,31 ; 0,90]	< 0,001
Lendemain soir	0,81	[0,39 ; 1,22]	< 0,001
L.B. x Soir	0,03	[-0,44 ; 0,49]	0,908
L.B. x Nuit	-0,37	[-0,84 ; 0,09]	0,116
L.B. x Lendemain jour	0,07	[-0,35 ; 0,48]	0,758
L.B. x Lendemain soir	0,02	[-0,56 ; 0,61]	0,937

Attention soutenue et mémoire de travail (SART)**Privation**

<i>(Intercept)</i>	73,46	[69,89 ; 77,02]	< 0,001
Lumière bleue	-2,40	[-7,44 ; 2,64]	0,360
Soir	-0,43	[-2,76 ; 1,90]	0,722
Nuit	-8,83	[-11,16 ; -6,50]	< 0,001
Lendemain jour	-5,56	[-7,65 ; -3,48]	< 0,001
Lendemain soir	-4,21	[-7,16 ; -1,26]	0,006
L.B. x Soir	0,27	[-3,03 ; 3,57]	0,873
L.B. x Nuit	3,08	[-0,21 ; 6,38]	0,070
L.B. x Lendemain jour	0,96	[-1,99 ; 3,91]	0,529
L.B. x Lendemain soir	4,46	[0,29 ; 8,63]	0,039

Naps

<i>(Intercept)</i>	72,54	[70,99 ; 74,10]	< 0,001
Lumière bleue	0,54	[-1,66 ; 2,74]	0,635
Soir	0,33	[-1,20 ; 1,86]	0,673
Nuit	-3,35	[-4,89 ; -1,82]	< 0,001
Lendemain jour	0,48	[-0,89 ; 1,85]	0,497
Lendemain soir	0,46	[-1,48 ; 2,39]	0,646
L.B. x Soir	-0,07	[-2,24 ; 2,09]	0,948
L.B. x Nuit	1,05	[-1,11 ; 3,22]	0,346
L.B. x Lendemain jour	0,31	[-1,62 ; 2,25]	0,754
L.B. x Lendemain soir	0,46	[-2,28 ; 3,20]	0,746

Temps de réaction (PVT)**Privation**

<i>(Intercept)</i>	355,44	[310,03 ; 400,86]	< 0,001
Lumière bleue	-3,32	[-67,54 ; 60,91]	0,921
Soir	13,55	[-31,91 ; 59,00]	0,563
Nuit	162,06	[116,61 ; 207,52]	< 0,001
Lendemain jour	104,96	[64,30 ; 145,62]	< 0,001
Lendemain soir	101,22	[43,72 ; 158,72]	0,001
L.B. x Soir	-4,66	[-68,95 ; 59,63]	0,888
L.B. x Nuit	-74,91	[-139,20 ; -10,62]	0,024
L.B. x Lendemain jour	-36,62	[-94,12 ; 20,88]	0,217
L.B. x Lendemain soir	-51,29	[-132,61 ; 30,03]	0,222

Naps

<i>(Intercept)</i>	350,15	[316,84 ; 383,45]	< 0,001
Lumière bleue	-0,45	[-46,80 ; 45,91]	0,985
Soir	3,29	[-26,88 ; 33,47]	0,832
Nuit	84,74	[54,56 ; 114,91]	< 0,001
Lendemain jour	6,90	[-20,09 ; 33,90]	0,620
Lendemain soir	0,33	[-37,85 ; 38,50]	0,987
L.B. x Soir	-4,17	[-46,18 ; 37,84]	0,847
L.B. x Nuit	-40,46	[-82,46 ; 1,55]	0,063
L.B. x Lendemain jour	-6,00	[-43,57 ; 31,57]	0,757
L.B. x Lendemain soir	0,33	[-52,80 ; 53,46]	0,990

Lapses (PVT)**Privation**

<i>(Intercept)</i>	1,60	[0,26 ; 2,95]	0,025
Lumière bleue	-0,08	[-1,99 ; 1,82]	0,933
Soir	0,77	[-0,44 ; 1,98]	0,218
Nuit	4,65	[3,43 ; 5,86]	< 0,001
Lendemain jour	3,69	[2,60 ; 4,77]	< 0,001
Lendemain soir	3,52	[1,99 ; 5,05]	< 0,001
L.B. x Soir	-0,39	[-2,10 ; 1,33]	0,663
L.B. x Nuit	-1,39	[-3,10 ; 0,33]	0,118
L.B. x Lendemain jour	-0,69	[-2,22 ; 0,85]	0,385
L.B. x Lendemain soir	-1,85	[-4,02 ; 0,31]	0,098

Naps

<i>(Intercept)</i>	1,22	[0,06 ; 2,38]	0,047
Lumière bleue	-0,03	[-1,65 ; 1,58]	0,967
Soir	0,21	[-0,82 ; 1,24]	0,690
Nuit	2,21	[1,18 ; 3,24]	< 0,001
Lendemain jour	0,47	[-0,45 ; 1,39]	0,325
Lendemain soir	0,64	[-0,66 ; 1,94]	0,337
L.B. x Soir	0,10	[-1,33 ; 1,53]	0,891
L.B. x Nuit	-0,62	[-2,05 ; 0,81]	0,403
L.B. x Lendemain jour	-0,11	[-1,39 ; 1,17]	0,865
L.B. x Lendemain soir	-0,52	[-2,33 ; 1,29]	0,578

Bibliographie

1. Directive 2005/32/CE du Parlement européen et du Conseil du 6 juillet 2005 établissant un cadre pour la fixation d'exigences en matière d'écoconception applicables aux produits consommateurs d'énergie et modifiant la directive 92/42/CEE du Conseil et les directives 96/57/CE et 2000/55/CE du Parlement européen et du Conseil [Internet]. OJ L Jul 6, 2005. Available from: <http://data.europa.eu/eli/dir/2005/32/oj/fra>
2. Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire alimentation, environnement, travail (ANSES). Rapport d'expertise collective sur les effets sur la santé humaine et sur l'environnement (faune et flore) des diodes électroluminescentes (LED). édition scientifique. 2019. 458 p.
3. Rayonnements optiques. Éclairage à LED - Risques - INRS [Internet]. [cited 2023 Aug 15]. Available from: <https://www.inrs.fr/risques/rayonnements-optiques/eclairage-led.html>
4. Point S, Barlier-Salsi A. Lampes à LEDs et risque rétinien (Fiche technique de la SFRP). 2017.
5. Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) relatif aux « valeurs limites d'exposition à la lumière bleue pour la population générale ». édition scientifique. 2020. 16 p.
6. Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire, alimentation, environnement, travail (ANSES). Rapport d'expertise collective sur les risques sanitaires liés au travail de nuit. édition scientifique. 2016. 408 p.
7. Les expositions aux risques professionnels dans la fonction publique et le secteur privé en 2017 | DARES [Internet]. [cited 2023 Aug 15]. Available from: <https://dares.travail-emploi.gouv.fr/publications/les-expositions-aux-risques-professionnels-dans-la-fonction-publique-et-le>

8. Le travail en horaires atypiques : quels salariés pour quelle organisation du temps de travail ? | DARES [Internet]. [cited 2023 Aug 15]. Available from: <https://dares.travail-emploi.gouv.fr/publications/le-travail-en-horaires-atypiques>
9. Salsi S, Barlier-Salsi A. Exposition aux dispositifs d'éclairage scénique : risque pour la santé des professionnels du spectacle vivant ou enregistré. *Radioprotection*. 2013 Jul 1;48(3):391–410.
10. Stephenson KM, Schroder CM, Bertschy G, Bourgin P. Complex interaction of circadian and non-circadian effects of light on mood: shedding new light on an old story. *Sleep Med Rev*. 2012 Oct;16(5):445–54.
11. Geoffroy PA, Schroder CM, Reynaud E, Bourgin P. Efficacy of light therapy versus antidepressant drugs, and of the combination versus monotherapy, in major depressive episodes: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Med Rev*. 2019 Dec;48:101213.
12. Cajochen C. Alerting effects of light. *Sleep Med Rev*. 2007 Dec;11(6):453–64.
13. Cajochen C, Zeitzer JM, Czeisler CA, Dijk DJ. Dose-response relationship for light intensity and ocular and electroencephalographic correlates of human alertness. *Behav Brain Res*. 2000 Oct;115(1):75–83.
14. Badia P, Myers B, Boecker M, Culpepper J, Harsh JR. Bright light effects on body temperature, alertness, EEG and behavior. *Physiol Behav*. 1991 Sep;50(3):583–8.
15. Phipps-Nelson J, Redman JR, Dijk DJ, Rajaratnam SMW. Daytime exposure to bright light, as compared to dim light, decreases sleepiness and improves psychomotor vigilance performance. *Sleep*. 2003 Sep;26(6):695–700.
16. Chellappa SL, Steiner R, Blattner P, Oelhafen P, Götz T, Cajochen C. Non-visual effects of light on melatonin, alertness and cognitive performance: can blue-enriched light keep us alert? *PLoS One*. 2011 Jan 26;6(1):e16429.

17. Chellappa SL, Gordijn MCM, Cajochen C. Can light make us bright? Effects of light on cognition and sleep. *Prog Brain Res.* 2011;190:119–33.
18. Vandewalle G, Gais S, Schabus M, Balteau E, Carrier J, Darsaud A, et al. Wavelength-dependent modulation of brain responses to a working memory task by daytime light exposure. *Cereb Cortex.* 2007 Dec;17(12):2788–95.
19. Vandewalle G, Schwartz S, Grandjean D, Wuillaume C, Balteau E, Degueldre C, et al. Spectral quality of light modulates emotional brain responses in humans. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2010 Nov 9;107(45):19549–54.
20. Daurat A, Aguirre A, Foret J, Gonnet P, Keromes A, Benoit O. Bright light affects alertness and performance rhythms during a 24-h constant routine. *Physiol Behav.* 1993 May;53(5):929–36.
21. Rüger M, Gordijn MCM, Beersma DGM, de Vries B, Daan S. Time-of-day-dependent effects of bright light exposure on human psychophysiology: comparison of daytime and nighttime exposure. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2006 May;290(5):R1413-1420.
22. Comtet H, Geoffroy PA, Kobayashi Frisk M, Hubbard J, Robin-Choteau L, Calvel L, et al. Light therapy with boxes or glasses to counteract effects of acute sleep deprivation. *Sci Rep.* 2019 Dec 2;9(1):18073.
23. Boivin DB, Tremblay GM, James FO. Working on atypical schedules. *Sleep Med.* 2007 Sep;8(6):578–89.
24. de Cordova PB, Bradford MA, Stone PW. Increased errors and decreased performance at night: A systematic review of the evidence concerning shift work and quality. *Work.* 2016 Feb 15;53(4):825–34.
25. Fischer D, Lombardi DA, Folkard S, Willetts J, Christiani DC. Updating the “Risk Index”: A systematic review and meta-analysis of occupational injuries and work schedule characteristics. *Chronobiol Int.* 2017;34(10):1423–38.

26. Salminen S. Shift Work and Extended Working Hours as Risk Factors for Occupational Injury. *The Ergonomics Open Journal*. 2010 Jan 1;3:14–8.
27. Violanti JM, Fekedulegn D, Andrew ME, Charles LE, Hartley TA, Vila B, et al. Shift work and the incidence of injury among police officers. *Am J Ind Med*. 2012 Mar;55(3):217–27.
28. Williamson AM, Feyer AM. Causes of accidents and the time of day. *Work & Stress*. 1995 Apr 1;9(2–3):158–64.
29. Reinberg A, Smolensky MH, Riedel M, Touitou Y, Floc'h NL, Claisse R, et al. Chronobiologic perspectives of black time—Accident risk is greatest at night: An opinion paper. *Chronobiology International*. 2015 Aug 9;32(7):1005–18.
30. Ftouni S, Sletten TL, Howard M, Anderson C, Lenne MG, Lockley SW, et al. Objective and subjective measures of sleepiness, and their associations with on-road driving events in shift workers. *Journal of Sleep Research*. 2013;22(1):58–69.
31. Leger D, Philip P, Jarriault P, Metlaine A, Choudat D. Effects of a combination of napping and bright light pulses on shift workers' sleepiness at the wheel: a pilot study. *Journal of Sleep Research*. 2009;18(4):472–9.
32. Dawson D, Campbell SS. Timed exposure to bright light improves sleep and alertness during simulated night shifts. *Sleep*. 1991 Dec;14(6):511–6.
33. Weisgerber DM, Nikol M, Mistlberger RE. Driving home from the night shift: a bright light intervention study. *Sleep Med*. 2017 Feb;30:171–9.
34. Wright KP, Badia P, Myers BL, Plenzler SC. Combination of bright light and caffeine as a countermeasure for impaired alertness and performance during extended sleep deprivation. *J Sleep Res*. 1997 Mar;6(1):26–35.

35. Cyr M, Artenie DZ, Al Bikaii A, Lee V, Raz A, Olson JA. An evening light intervention reduces fatigue and errors during night shifts: A randomized controlled trial. *Sleep Health*. 2023 Jun 1;9(3):373–80.
36. Aemmi SZ, Mohammadi E, Heidarian-Miri H, Fereidooni-Moghadam M, Boostani H, Zarea K. The effectiveness of bright light exposure in shift-worker nurses: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Sci*. 2020;13(2):145–51.
37. Société Française de Médecine du Travail. Surveillance médico-professionnelle des travailleurs postés et/ou de nuit,. *Références en santé au travail*. 2012 Sep;(131):27.
38. Gronfier C. Le rôle et les effets physiologiques de la lumière : sommeil et horloge biologique dans le travail de nuit et posté. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*. 2009 Jun 1;70(3):253–61.
39. Dauvilliers Y. *Les Troubles du Sommeil (Troisième Édition)* [Internet]. Elsevier Masson. Dauvilliers Y, editor. Paris: Elsevier Masson; 2019 [cited 2023 Aug 17]. 437 p. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9782294748929000011>
40. Krueger JM, Frank MG, Wisor JP, Roy S. Sleep function: Toward elucidating an enigma. *Sleep Med Rev*. 2016 Aug;28:46–54.
41. Tononi G, Cirelli C. Sleep and synaptic down-selection. *Eur J Neurosci*. 2020 Jan;51(1):413–21.
42. McHill AW, Wright KP. Role of sleep and circadian disruption on energy expenditure and in metabolic predisposition to human obesity and metabolic disease. *Obes Rev*. 2017 Feb;18 Suppl 1:15–24.
43. Benington JH, Heller HC. Restoration of brain energy metabolism as the function of sleep. *Prog Neurobiol*. 1995 Mar;45(4):347–60.
44. Besedovsky L, Lange T, Haack M. The Sleep-Immune Crosstalk in Health and Disease. *Physiol Rev*. 2019 Jul 1;99(3):1325–80.

45. Xie L, Kang H, Xu Q, Chen MJ, Liao Y, Thiyagarajan M, et al. Sleep Drives Metabolite Clearance from the Adult Brain. *Science*. 2013 Oct 18;342(6156):10.1126/science.1241224.
46. Morgan D, Tsai SC. Sleep and the Endocrine System. *Sleep Med Clin*. 2016 Mar;11(1):115–26.
47. Goldstein AN, Walker MP. The role of sleep in emotional brain function. *Annu Rev Clin Psychol*. 2014;10:679–708.
48. Maquet P. The role of sleep in learning and memory. *Science*. 2001 Nov 2;294(5544):1048–52.
49. Saper CB, Scammell TE, Lu J. Hypothalamic regulation of sleep and circadian rhythms. *Nature*. 2005 Oct 27;437(7063):1257–63.
50. Purves D. *Neuroscience* (3rd ed). Sinauer Associates. 2004.
51. Berry RB, Brooks R, Gamaldo C, Harding SM, Lloyd RM, Quan SF, et al. AASM Scoring Manual Updates for 2017 (Version 2.4). *J Clin Sleep Med*. 2017 May 15;13(5):665–6.
52. Glacet R. Régulation photique, circadienne et homéostatique du sommeil et du comportement chez le sujet sain [Neurosciences]. [Strasbourg]: Université de Strasbourg; 2021.
53. Roenneberg T, Wirz-Justice A, Meroo M. Life between clocks: daily temporal patterns of human chronotypes. *J Biol Rhythms*. 2003 Feb;18(1):80–90.
54. He Y, Jones CR, Fujiki N, Xu Y, Guo B, Holder JL, et al. The Transcriptional Repressor DEC2 Regulates Sleep Length in Mammals. *Science*. 2009 Aug 14;325(5942):866–70.
55. Pellegrino R, Kavakli IH, Goel N, Cardinale CJ, Dinges DF, Kuna ST, et al. A Novel BHLHE41 Variant is Associated with Short Sleep and Resistance to Sleep Deprivation in Humans. *Sleep*. 2014 Aug 1;37(8):1327–36.
56. Borbély AA. A two process model of sleep regulation. *Hum Neurobiol*. 1982;1(3):195–204.

57. Borbély AA, Daan S, Wirz-Justice A, Deboer T. The two-process model of sleep regulation: a reappraisal. *Journal of Sleep Research*. 2016;25(2):131–43.
58. Borbély A. The two-process model of sleep regulation: Beginnings and outlook. *J Sleep Res*. 2022 Aug;31(4):e13598.
59. Deboer T. Sleep homeostasis and the circadian clock: Do the circadian pacemaker and the sleep homeostat influence each other's functioning? *Neurobiol Sleep Circadian Rhythms*. 2018 Jun;5:68–77.
60. Borbély AA, Baumann F, Brandeis D, Strauch I, Lehmann D. Sleep deprivation: effect on sleep stages and EEG power density in man. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1981 May;51(5):483–95.
61. Cajochen C, Brunner D, Krauchi K, Graw P, Wirz-Justice A. Power density in theta/alpha frequencies of the waking EEG progressively increases during sustained wakefulness. *Sleep* [Internet]. 1995 Dec [cited 2023 Aug 12];18(10). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8746397/>
62. Tobaldini E, Costantino G, Solbiati M, Cogliati C, Kara T, Nobili L, et al. Sleep, sleep deprivation, autonomic nervous system and cardiovascular diseases. *Neurosci Biobehav Rev*. 2017 Mar;74(Pt B):321–9.
63. Knutson KL, Spiegel K, Penev P, Van Cauter E. The metabolic consequences of sleep deprivation. *Sleep Med Rev*. 2007 Jun;11(3):163–78.
64. Durmer JS, Dinges DF. Neurocognitive consequences of sleep deprivation. *Semin Neurol*. 2005 Mar;25(1):117–29.
65. Turner TH, Drummond SPA, Salamat JS, Brown GG. Effects of 42 hr of total sleep deprivation on component processes of verbal working memory. *Neuropsychology*. 2007 Nov;21(6):787–95.
66. Krause AJ, Simon EB, Mander BA, Greer SM, Saletin JM, Goldstein-Piekarski AN, et al. The sleep-deprived human brain. *Nat Rev Neurosci*. 2017 Jul;18(7):404–18.

67. Dibner C, Schibler U, Albrecht U. The mammalian circadian timing system: organization and coordination of central and peripheral clocks. *Annu Rev Physiol.* 2010;72:517–49.
68. Hastings MH, Maywood ES, Brancaccio M. Generation of circadian rhythms in the suprachiasmatic nucleus. *Nat Rev Neurosci.* 2018 Aug;19(8):453–69.
69. Wehr TA, Moul DE, Barbato G, Giesen HA, Seidel JA, Barker C, et al. Conservation of photoperiod-responsive mechanisms in humans. *Am J Physiol.* 1993 Oct;265(4 Pt 2):R846-857.
70. Arendt J. Melatonin: Countering Chaotic Time Cues. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2019 Jul 16;10:391.
71. Cajochen C, Kräuchi K, Wirz-Justice A. Role of melatonin in the regulation of human circadian rhythms and sleep. *J Neuroendocrinol.* 2003 Apr;15(4):432–7.
72. Kilic Huck Ü, Hugueny L, Choteau Robin L, Roy de Belleplaine V, Forfert P, Ruppert E, et al. Début de l'ascension de la sécrétion de mélatonine en lumière faible (DLMO). Modalités de recours à un outil d'analyse de la phase circadienne chez l'homme. *Médecine du Sommeil.* 2019 Sep 1;16(3):210–7.
73. Ko CH, Takahashi JS. Molecular components of the mammalian circadian clock. *Hum Mol Genet.* 2006 Oct 15;15 Spec No 2:R271-277.
74. Horne JA, Ostberg O. A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *Int J Chronobiol.* 1976;4(2):97–110.
75. American Academy of Sleep Medicine, editor. *International classification of sleep disorders.* 3. ed. Darien, Ill: American Acad. of Sleep Medicine; 2014. 383 p.
76. Hubbard J, Ruppert E, Gropp CM, Bourgin P. Non-circadian direct effects of light on sleep and alertness: Lessons from transgenic mouse models. *Sleep Medicine Reviews.* 2013 Dec 1;17(6):445–52.

77. Czeisler CA, Shanahan TL, Klerman EB, Martens H, Brotman DJ, Emens JS, et al. Suppression of melatonin secretion in some blind patients by exposure to bright light. *N Engl J Med.* 1995 Jan 5;332(1):6–11.
78. Schmidt TM, Do MTH, Dacey D, Lucas R, Hattar S, Matynia A. Melanopsin-Positive Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cells: From Form to Function. *J Neurosci.* 2011 Nov 9;31(45):16094–101.
79. Provencio I, Rodriguez IR, Jiang G, Hayes WP, Moreira EF, Rollag MD. A novel human opsin in the inner retina. *J Neurosci.* 2000 Jan 15;20(2):600–5.
80. Hattar S, Liao HW, Takao M, Berson DM, Yau KW. Melanopsin-containing retinal ganglion cells: architecture, projections, and intrinsic photosensitivity. *Science.* 2002 Feb 8;295(5557):1065–70.
81. Berson DM, Dunn FA, Takao M. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science.* 2002 Feb 8;295(5557):1070–3.
82. Hubbard J, Kobayashi Frisk M, Ruppert E, Tsai JW, Fuchs F, Robin-Choteau L, et al. Dissecting and modeling photic and melanopsin effects to predict sleep disturbances induced by irregular light exposure in mice. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2021 Jun 22;118(25):e2017364118.
83. LeGates TA, Fernandez DC, Hattar S. Light as a central modulator of circadian rhythms, sleep and affect. *Nat Rev Neurosci.* 2014 Jul;15(7):443–54.
84. Khalsa SBS, Jewett ME, Cajochen C, Czeisler CA. A phase response curve to single bright light pulses in human subjects. *J Physiol.* 2003 Jun 15;549(Pt 3):945–52.
85. Eastman CI, Liu L, Fogg LF. Circadian rhythm adaptation to simulated night shift work: effect of nocturnal bright-light duration. *Sleep.* 1995 Jul;18(6):399–407.

86. Srinivasan V, Smits M, Spence W, Lowe AD, Kayumov L, Pandi-Perumal SR, et al. Melatonin in mood disorders. *World J Biol Psychiatry*. 2006;7(3):138–51.
87. Rumble ME, White KH, Benca RM. Sleep Disturbances in Mood Disorders. *Psychiatr Clin North Am*. 2015 Dec;38(4):743–59.
88. Tsai JW, Hannibal J, Hagiwara G, Colas D, Ruppert E, Ruby NF, et al. Melanopsin as a Sleep Modulator: Circadian Gating of the Direct Effects of Light on Sleep and Altered Sleep Homeostasis in *Opn4*^{-/-} Mice. *PLoS Biol*. 2009 Jun 9;7(6):e1000125.
89. Campbell SS, Dawson D. Enhancement of nighttime alertness and performance with bright ambient light. *Physiol Behav*. 1990 Aug;48(2):317–20.
90. Lecrubier Y, Sheehan D, Weiller E, Amorim P, Bonora I, Sheehan KH, et al. The Mini International Neuropsychiatric Interview (MINI). A short diagnostic structured interview: reliability and validity according to the CIDI. *Eur psychiatr*. 1997;12(5):224–31.
91. Buysse DJ, Reynolds CF, Monk TH, Berman SR, Kupfer DJ. The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Res*. 1989 May;28(2):193–213.
92. Ware JE, Sherbourne CD. The MOS 36-item short-form health survey (SF-36). I. Conceptual framework and item selection. *Med Care*. 1992 Jun;30(6):473–83.
93. Johns MW. A new method for measuring daytime sleepiness: the Epworth sleepiness scale. *Sleep*. 1991 Dec;14(6):540–5.
94. Cardenas J. Echelles et outils d'évaluation en médecine générale. *Le Généraliste-Supplément* du n° 2187. :54.
95. Bastien CH, Vallières A, Morin CM. Validation of the Insomnia Severity Index as an outcome measure for insomnia research. *Sleep Med*. 2001 Jul;2(4):297–307.

96. Beck AT, Ward CH, Mendelson M, Mock J, Erbaugh J. An inventory for measuring depression. *Arch Gen Psychiatry*. 1961 Jun;4:561–71.
97. Weiner L, Weibel S, de Sousa Gurgel W, Keizer I, Gex-Fabry M, Giersch A, et al. Measuring racing thoughts in healthy individuals: The Racing and Crowded Thoughts Questionnaire (RCTQ). *Compr Psychiatry*. 2018 Apr;82:37–44.
98. Akiskal HS, Mendlowicz MV, Jean-Louis G, Rapaport MH, Kelsoe JR, Gillin JC, et al. TEMPS-A: validation of a short version of a self-rated instrument designed to measure variations in temperament. *J Affect Disord*. 2005 Mar;85(1–2):45–52.
99. Akerstedt T, Gillberg M. Subjective and objective sleepiness in the active individual. *Int J Neurosci*. 1990 May;52(1–2):29–37.
100. Gillberg M, Kecklund G, Akerstedt T. Relations between performance and subjective ratings of sleepiness during a night awake. *Sleep*. 1994 Apr;17(3):236–41.
101. Fos L, Greve K, South M, Mathias C, Benefield H. Paced Visual Serial Addition Test: An Alternative Measure of Information Processing Speed. *Applied neuropsychology*. 2000 Sep 1;7:140–6.
102. Wechsler D. *The measurement of adult intelligence*, 3rd ed. Baltimore, MD, US: Williams & Wilkins Co; 1944. vii, 258 p. (The measurement of adult intelligence, 3rd ed).
103. Kirchner WK. Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of Experimental Psychology*. 1958;55(4):352–8.
104. Robertson IH, Manly T, Andrade J, Baddeley BT, Yiend J. “Oops!”: performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and normal subjects. *Neuropsychologia*. 1997 Jun;35(6):747–58.
105. Graw P, Werth E, Kräuchi K, Gutzwiller F, Cajochen C, Wirz-Justice A. Early morning melatonin administration impairs psychomotor vigilance. *Behav Brain Res*. 2001 Jun;121(1–2):167–72.

106. CNRS Le journal [Internet]. [cited 2023 Aug 10]. Circsom. Available from: <https://lejournal.cnrs.fr/circsom>
107. Basner M, Dinges DF. Maximizing sensitivity of the psychomotor vigilance test (PVT) to sleep loss. *Sleep*. 2011 May 1;34(5):581–91.
108. Hajali V, Andersen ML, Negah SS, Sheibani V. Sex differences in sleep and sleep loss-induced cognitive deficits: The influence of gonadal hormones. *Horm Behav*. 2019 Feb;108:50–61.
109. The jamovi project (2023). jamovi (Version 2.3) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.
110. Cajochen C, Reichert C, Maire M, Schlangen LJM, Schmidt C, Viola AU, et al. Evidence That Homeostatic Sleep Regulation Depends on Ambient Lighting Conditions during Wakefulness. *Clocks Sleep*. 2019 Dec 11;1(4):517–31.
111. Gabel V, Reichert CF, Maire M, Schmidt C, Schlangen LJM, Kolodyazhniy V, et al. Differential impact in young and older individuals of blue-enriched white light on circadian physiology and alertness during sustained wakefulness. *Sci Rep*. 2017 Aug 8;7(1):7620.

DÉCLARATION SUR L'HONNEUR



Document avec signature originale devant être joint :

- à votre mémoire de D.E.S.
- à votre dossier de demande de soutenance de thèse

Nom : MEDDE Prénom : Alessandro

Ayant été informé(e) qu'en m'appropriant tout ou partie d'une œuvre pour l'intégrer dans mon propre mémoire de spécialité ou dans mon mémoire de thèse de docteur en médecine, je me rendrais coupable d'un délit de contrefaçon au sens de l'article L335-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle et que ce délit était constitutif d'une fraude pouvant donner lieu à des poursuites pénales conformément à la loi du 23 décembre 1901 dite de répression des fraudes dans les examens et concours publics,

Ayant été avisé(e) que le président de l'université sera informé de cette tentative de fraude ou de plagiat, afin qu'il saisisse la juridiction disciplinaire compétente,

Ayant été informé(e) qu'en cas de plagiat, la soutenance du mémoire de spécialité et/ou de la thèse de médecine sera alors automatiquement annulée, dans l'attente de la décision que prendra la juridiction disciplinaire de l'université

J'atteste sur l'honneur :

Ne pas avoir reproduit dans mes documents tout ou partie d'œuvre(s) déjà existante(s), à l'exception de quelques brèves citations dans le texte, mises entre guillemets et référencées dans la bibliographie de mon mémoire.

A écrire à la main : « J'atteste sur l'honneur avoir connaissance des suites disciplinaires ou pénales que j'encours en cas de déclaration erronée ou incomplète ».

J'atteste sur l'honneur avoir connaissance des suites disciplinaires ou pénales que j'encours en cas de déclaration erronée ou incomplète.

Signature originale :

à Strasbourg, le 25/09/2023

Photocopie de cette déclaration devant être annexée en dernière page de votre mémoire de D.E.S. ou de Thèse.

RÉSUMÉ : En raison de l'évolution technologique et de la diffusion des LEDs, la lumière bleue est de plus en plus présente sur les plans sociétal et professionnel. Ce travail porte sur l'évaluation des effets directs de la lumière bleue sur la vigilance, la somnolence et les performances cognitives en tenant compte des processus homéostatique et circadien. Les données sont issues d'une étude expérimentale chez 64 sujets sains repartis en 4 bras en conditions expérimentales différentes de protocoles chronobiologiques (privation de sommeil et lumière tamisée inactive, privation de sommeil et lumière enrichie en bleu, siestes répétées et lumière tamisée inactive, siestes répétées et lumière enrichie en bleu). Les résultats des évaluations électroencéphalographiques et comportementales sur la période de 40 heures montrent la modulation circadienne et homéostatique des variables analysées. Des effets directs bénéfiques de la lumière bleue sont observés au cours de la nuit subjective correspondant à la période critique de moindre vigilance et de moindre performance cognitive. Les pistes de réflexion proposées en santé au travail concernent les professionnels travaillant la journée avec des contraintes d'astreinte nocturne, les travailleurs de nuit et les travailleurs postés. En conclusion ce travail apporte des éléments à la compréhension des effets de la lumière bleue sur l'être humain tant sur le plan individuel que collectif.

Rubrique de classement : Médecine et Santé au Travail

Mots-clés : Lumière bleue – Circadien – Privation de sommeil – Somnolence – Vigilance – Cognition – Travail de nuit

Présidente : Madame le Professeur Maria Gonzalez

Assesseurs : Monsieur le Professeur Fabrice Berna, Madame le Professeur Nathalie Jeandidier

Adresse de l'auteur : 1 rue des orfèvres, Strasbourg (67000)
