

Système de gestion des risques liés à la fatigue pour les policiers en autopatrouille

Diane B. Boivin et Philippe Boudreau

RAPPORTS
SCIENTIFIQUES

R-1131-fr



NOS RECHERCHES travaillent pour vous !

Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

Mission

Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes;

Assurer la diffusion des connaissances et jouer un rôle de référence scientifique et d'expertise;

Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail.

Pour en savoir plus

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement. www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement :

- au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CNESST (preventionautravail.com)
- au bulletin électronique [InfoIRSST](#)

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2022
ISBN 978-2-89797-222-6 (PDF)

© Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, 2022

IRSST - Direction des communications, de la veille et de la mobilisation des connaissances
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca

Système de gestion des risques liés à la fatigue pour les policiers en autopatrouille

Diane B. Boivin¹ et Philippe Boudreau¹

Collaborateur

Guy Dumont²

¹ Centre d'étude et de traitement des rythmes circadiens
Institut universitaire en santé mentale Douglas
Département de psychiatrie, Université McGill

² The University of British Columbia

RAPPORTS
SCIENTIFIQUES

R-1131-fr



Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document.

En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information.

Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle.

Cette publication est disponible en version PDF sur le site Web de l'IRSST.



ÉVALUATION PAR DES PAIRS

Conformément aux politiques de l'IRSST, les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

REMERCIEMENTS

Pour leur précieuse collaboration, nous remercions chaleureusement les organisations suivantes et leurs membres :

Les policières et policiers des services de police participants ainsi que leurs représentants patronaux et syndicaux.

Les membres de l'Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail, secteur « affaires municipales » (APSAM) : Denise Soucy, Directrice générale, ainsi que Charles Plante et Amélie Trudel, Conseillers en prévention.

Les étudiantes et étudiants, assistantes et assistants de recherche ayant contribué et qui ont dû, eux aussi, travailler sur des horaires atypiques pour mener à terme cette recherche.

La docteure Sylvie Rhéaume pour son aide à la couverture médicale lors des expériences.

La docteure Claire-Dominique Walker pour son support à l'analyse des échantillons biologiques.

Le professeur Guy Dumont pour sa collaboration scientifique.

Mesdames Manon Gagnon et Johanne Gauthier pour leur support à la gestion administrative de cette étude.

L'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) qui, par le versement d'une subvention de recherche et de bourses d'études graduées et postdoctorales, a permis la réalisation de cette recherche.

SOMMAIRE

Dans les organisations à opérations continues, telles que les services d'urgence, plusieurs facteurs, d'ordre organisationnel et individuel, contribuent à générer de la fatigue physique et mentale chez les travailleurs. Le travail de nuit et rotatif occasionne une perturbation importante dans l'horaire de sommeil et d'éveil. Cette situation augmente le risque de baisse de performance, d'erreurs, d'incidents et d'accidents au travail en plus de réduire la productivité et la santé des travailleurs. Cette recherche s'insère dans une démarche paritaire ayant pour objectif de doter les services de police étudiés d'outils de gestion de la fatigue, scientifiquement validés. Ces outils leur permettront de réduire les risques d'incidents et accidents au travail liés à la fatigue.

La présente recherche est née d'un intérêt paritaire exprimé par les représentants patronaux et syndicaux de services de police désireux de mieux gérer la fatigue et ses impacts au sein de leurs organisations. Le but de cette étude est de développer la composante centrale d'un système de gestion des risques liés à la fatigue (SGRF). Cette composante repose sur des données scientifiques et consiste en un outil de prédiction des risques liés à la fatigue, propre aux services de police participant à cette étude. Plusieurs étapes ont été nécessaires pour réaliser cet objectif. Dans un premier temps, les services intéressés ont été identifiés et rencontrés pour leur expliquer le projet, ses objectifs et s'entendre sur un échéancier. Deux services de police ont été retenus.

Après une rencontre de démarrage planifiée avec des représentants patronaux et syndicaux de ces services de police, des comités opérationnels locaux ont été mis sur pied et des groupes de discussion ont été organisés. Ces groupes ont réuni des policières, policiers, représentants des ressources humaines et représentants en santé et sécurité du travail. Le but de ces rencontres a été de recueillir les commentaires des participants sur problématique de la fatigue au travail. Les participants ont été encouragés à décrire leur expérience en termes de fatigue au travail, comment et dans quelles situations cette dernière s'exprime et quels facteurs en affectent la survenue. Par la suite, les suggestions émanant de ces groupes ont été considérées dans le développement d'une large étude terrain au cours de laquelle un total de 76 policières et policiers en santé, âgés de 20 à 65 ans, travaillant à temps plein sur la patrouille ont été étudiés.

Chaque policière et policier recruté a été étudié pendant un cycle complet de travail (~1 mois) afin de quantifier ses niveaux de fatigue et les facteurs y contribuant. Pendant toute la durée de l'étude, les participants ont porté une petite montre (actigraphe) sur leur poignet non dominant afin de documenter leur horaire de sommeil. Ils ont aussi fait plusieurs entrées quotidiennes sur un appareil téléphonique portatif afin de documenter leurs périodes de sommeil, leurs niveaux de fatigue, vigilance, somnolence, et de compléter des tests validés de performance. La charge de travail et la consommation de boissons stimulantes ont été considérées. À 4 ou 5 reprises au cours de l'étude, les participants ont collecté des échantillons urinaires pendant plus de 24 heures successives. Le but de ces collectes est d'en mesurer le contenu en métabolites hormonaux utiles pour évaluer l'heure interne de l'horloge biologique. Les résultats ont été analysés afin de déterminer les facteurs qui affectent les niveaux de fatigue. Divers facteurs, d'ordre personnel et opérationnel, tels que ceux liés à l'organisation du cycle éveil-sommeil et de l'horaire de travail, ont été considérés.

Cette étude a démontré que la fatigue varie en fonction des heures travaillées et de l'heure de la journée. Elle est plus marquée la nuit comparativement au jour. Elle est aussi plus marquée en début de quart de jour et en fin de quart de nuit. Les variables de fatigue et de performance dépendent aussi du service de police étudié. Cette observation renforce l'importance de collecter des données spécifiques à chaque organisation afin de bien quantifier la problématique de gestion de la fatigue au sein de cette organisation. Les résultats de la présente étude terrain ont servi à l'élaboration d'un outil d'estimation des risques liés à la fatigue au travail. Grâce à ces résultats, l'influence de divers facteurs contribuant au risque lié à la fatigue au travail a été mesurée. L'outil développé permet de catégoriser les risques liés à la fatigue selon 4 niveaux ; faible, modéré, élevé et très élevé.

Il est escompté que cette grille d'estimation des risques liés à la fatigue au travail permettra aux organisations de se doter d'une politique de gestion de ces risques. Un SGRF est une retombée anticipée de cette recherche. De plus, il sera possible d'utiliser les données émanant de cette recherche pour des activités ultérieures de valorisation telles que des modules de formation sur la gestion de la fatigue au travail pour les policières et policiers. Enfin, cette démarche sera facilement adaptable à d'autres groupes de travailleuses et travailleurs aux prises avec une problématique similaire.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	iii
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES FIGURES	xi
LISTE DES ACRONYMES, SIGLES ET ABRÉVIATIONS	xiii
1. INTRODUCTION	1
1.1 Pertinence et importance du sujet.....	1
1.2 Origine du projet	2
2. ÉTAT DES CONNAISSANCES	3
2.1 Rythmes circadiens et régulation du sommeil et de l'éveil	3
2.2 Horaires de travail et cycle éveil-sommeil	4
2.3 Privation de sommeil et vigilance	5
2.4 Fatigue au travail et risque d'accidents	6
2.5 Comparaison entre l'effet de l'alcool et de la privation de sommeil	7
2.6 Contremesures à la fatigue au travail.....	8
2.7 Systèmes de gestion des risques liés à la fatigue	9
2.8 Originalité du projet en regard des connaissances existantes.....	10
3. OBJECTIF ET HYPOTHÈSES DE RECHERCHE	11
4. MÉTHODOLOGIE	13
4.1 Recrutement	13
4.2 Rencontre de démarrage avec les partenaires.....	13
4.3 Exploration des risques liés à la fatigue	13
4.4 Collecte de données	14
4.4.1 Recrutement et dépistage.....	14
4.4.2 Participants	14
4.4.3 Protocole expérimental.....	16
4.4.4 Mesures	17
4.5 Analyse des résultats.....	19
4.5.1 Nettoyage et validation des données.....	20
4.5.2 Calcul des facteurs contribuant à la fatigue	23
4.6 Analyses statistiques	24

4.7	Intégration des résultats dans un outil d'estimation de la fatigue.....	26
4.7.1	Détermination d'un « Index composé de fatigue »	26
4.7.2	Détermination des niveaux de risque liés à la fatigue	26
4.7.3	Sélection des facteurs contribuant à la fatigue.....	27
4.7.4	Modélisation	28
4.7.5	Outil de prédiction des risques liés à la fatigue	28
5.	RÉSULTATS	29
5.1	Groupes de discussion	29
5.2	Données démographiques	31
5.3	Description de la base de données	33
5.3.1	Période de collecte de données	33
5.3.2	Épisode de sommeil	34
5.3.3	Journées de travail et de congé.....	34
5.3.4	Horaire de travail/sommeil	35
5.3.5	Base de données	35
5.3.6	La phase circadienne	36
5.4	Résultats des analyses préliminaires	36
5.4.1	Horaire de sommeil et d'éveil	36
5.4.2	Propension au sommeil par quart de travail.....	38
5.4.3	Durée d'éveil et de sieste par quart de travail	39
5.4.4	Charge de travail (NASA-TLX)	40
5.4.5	Performance et fatigue en début et fin de quart de travail.....	41
5.4.6	Performance et fatigue selon la durée d'éveil	43
5.4.7	Performance et fatigue selon l'heure de la journée	44
5.4.8	La phase circadienne	45
5.4.9	Adaptation circadienne	48
5.4.10	Incidents au travail liés à la fatigue	49
5.4.11	Pauses et périodes de repas au travail.....	50
5.5	Prédiction des risques liés à la fatigue	50
5.5.1	Présentation de l'index composé subjectif de fatigue.....	50
5.5.2	Évaluation du risque basé sur l'index composé subjectif de fatigue	52
5.5.3	Modélisation	56
5.5.4	Outil de prédiction des risques liés à la fatigue	57
5.5.5	Estimation du risque lié à la fatigue sur différents horaires de travail	59
5.6	Rencontre avec les partenaires	62
6.	DISCUSSION	63
6.1	Groupes de policières et policiers étudiés.....	63

6.2	Détermination des niveaux de risque	65
6.3	Facteurs clés affectant le niveau de risque lié à la fatigue.....	66
6.3.1	Considérations générales	66
6.3.2	Horaire de sommeil	66
6.3.3	Périodes d'éveil	68
6.3.4	Charge de travail	70
6.3.5	Horaire de travail	70
6.3.6	Variabilité individuelle	72
6.3.7	Ajustement circadien	72
6.4	Portée et applicabilité des résultats.....	75
6.5	Limites	76
7.	CONCLUSION.....	79
	BIBLIOGRAPHIE	81
	ANNEXE A : Échelle de fatigue et de somnolence	97
A.I	Échelle de somnolence de Karolinska.....	97
A.II	Échelle de fatigue de Samn-Perelli	97
	ANNEXE B : Mesure de la phase circadienne	99
B.I	Calcul du taux horaire d'excrétion	99
B.II	Calcul du point milieu.....	99

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Facteurs contribuant à la fatigue (variables indépendantes)	19
Tableau 2.	Facteurs considérés dans le calcul des risques liés à la fatigue	23
Tableau 3.	Facteurs contribuant à la fatigue inclus dans le modèle.	28
Tableau 4.	Caractéristiques démographiques des participants	31
Tableau 5.	Chronotype des participants	31
Tableau 6.	Index de sévérité de l'insomnie des participants	32
Tableau 7.	Index d'insomnie d'Athènes des participants.....	32
Tableau 8.	Échelle de somnolence d'Epworth des participants par service de police	33
Tableau 9.	Horaire des quarts de travail	34
Tableau 10.	Questionnaires disponibles et validés pour les analyses.....	35
Tableau 11.	Sommeil et temps d'éveil moyen.....	37
Tableau 12.	Fréquence d'un temps total de sommeil < 6 heures	38
Tableau 13.	Charge de travail en fonction du type de quart.....	41
Tableau 14.	Charge de travail par service de police	41
Tableau 15.	Phases circadiennes de 6-sulfatoxy-mélatonine et cortisol urinaires	48
Tableau 16.	Fatigue et performance en fonction de l'adaptation circadienne.....	49
Tableau 17.	Données individuelles de somnolence par niveau de risque.	53
Tableau 18.	Données individuelles de fatigue par niveau de risque.....	54
Tableau 19.	Données individuelles de performance par niveau de risque.	55
Tableau 20.	Identification des niveaux de risque	55
Tableau 21.	Liste des variables significatives du modèle.....	56

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Diagramme de recrutement.	15
Figure 2.	Exemple d'un horaire de 35 jours de travail.	15
Figure 3.	Temps au lit et période de sommeil.....	21
Figure 4.	Périodes de collecte de données de chaque participant.....	33
Figure 5.	Exemple de l'horaire d'un participant.	35
Figure 6.	Propension au sommeil par quart de travail.	39
Figure 7.	Durée d'éveil et des siestes en début et fin de quart de travail.....	40
Figure 8.	Performance et fatigue en début et fin de quart de travail.	42
Figure 9.	Performance et fatigue en fonction de la durée d'éveil.....	43
Figure 10.	Performance et fatigue en fonction de l'heure de la journée.....	44
Figure 11.	Phase circadienne basée sur l'excrétion urinaire de cortisol.	46
Figure 12.	Phase circadienne basée sur l'excrétion urinaire de 6-sulfatoxy-mélatonine.....	47
Figure 13.	Exposition à la lumière lors des quarts de nuit en fonction de l'adaptation circadienne.	48
Figure 14.	Distribution de l' <i>index composé subjectif de fatigue</i>	51
Figure 15.	Distribution de l' <i>index composé objectif de fatigue</i>	51
Figure 16.	Distribution de l' <i>index composé subjectif de fatigue</i> par niveaux de risque.....	56
Figure 17.	Distribution des résidus.....	57
Figure 18.	Prédiction des niveaux de risque liés à la fatigue.....	58
Figure 19.	Niveaux de risque liés à la fatigue sur l'horaire habituel de travail.....	60
Figure 20.	Niveau de risque lié à la fatigue lors de quarts prolongés.	61
Figure 21.	Niveaux individuels de risque liés à la fatigue sur l'horaire habituel de travail.	62
Figure 22.	Facteurs affectant la fatigue.....	77
Figure 23.	Représentation graphique du point milieu d'une courbe d'excrétion urinaire de 6-sulfatoxy-mélatonine.	100

LISTE DES ACRONYMES, SIGLES ET ABRÉVIATIONS

APSAM :	Association paritaire pour la santé et sécurité du travail, secteur « affaires municipales »
c.-à-d. :	c'est-à-dire
É.T. :	écart-type
ISI :	score de sévérité de l'insomnie (<i>Insomnia Severity Index</i>)
NSCs :	noyaux suprachiasmatiques
PSQI :	index de qualité du sommeil de Pittsburgh (<i>Pittsburgh Sleep Quality Index</i>)
RC :	rapport de chances
SGRF :	système de gestion des risques liés à la fatigue
TVP :	tâche de vigilance psychomotrice

1. INTRODUCTION

1.1 Pertinence et importance du sujet

Dans les pays industrialisés, entre 15 - 30 % des travailleuses et travailleurs opèrent en dehors des heures conventionnelles diurnes (Statistics Canada Labour and Household Surveys Analysis Division, 1998). Au Canada, 4,1 millions de travailleuses et travailleurs se trouvent dans cette situation, soit 28 % des travailleuses et travailleurs canadiens (Williams, 2008). La privation de sommeil, combinée à une perturbation des rythmes circadiens (c.-à-d., les rythmes contrôlés par l'horloge biologique), augmente significativement le risque d'incidents et d'accidents en plus de réduire la productivité des travailleuses et travailleurs (Folkard et Tucker, 2003). Ainsi, le risque accru d'accidents reliés à la fatigue au travail touche tous les secteurs d'activités où les travailleuses et travailleurs doivent opérer en dehors des heures conventionnelles de travail. Ce risque est important et sous-documenté dans la majorité des études, car très peu d'investigations postaccidents questionnent le travailleur sur son manque de sommeil, son niveau de fatigue ou son horaire de travail. Ainsi, une étude américaine a révélé que le risque d'accidents au travail augmente de 2,77 fois lors du travail de nuit comparativement au travail de jour (Swanson *et al.*, 2011). Une méta-analyse de 14 publications récentes révèle que le travail par quarts augmente les risques d'accidents au travail de 50 - 100 % (Wagstaff et Sigstad Lie, 2011). Selon l'enquête nationale de santé aux États-Unis en 2010, les travailleuses et travailleurs dormant moins de 6 heures par jour (situation fréquente sur horaires atypiques) présentent un risque d'accidents au travail accru de 86 % comparativement à ceux dormant 7 à 8 heures par jour (Lombardi, Wirtz, Willetts et Folkard, 2012). Le risque accru d'erreurs et d'accidents chez les travailleurs par quarts s'accompagne d'une augmentation de 31 - 53 % du taux d'absentéisme (d'Errico et Costa, 2012; Rajbhandary et Basu, 2010) et de 48 - 92 % en compensations pour cause d'absentéisme (Wong, McLeod et Demers, 2011). Il a été estimé que 11,3 % des 2,7 millions de demandes de compensation pour accidents de travail au Canada en 2006 seraient attribuables au travail par quarts (Wong *et al.*, 2011). En utilisant l'ensemble des données de rémunération des travailleuses et travailleurs d'Oregon, Horwitz et McCall (2004) ont calculé le coût de ces blessures supplémentaires chez le personnel hospitalier. Ils font état d'une augmentation de la fréquence des accidents de 58,5 % en plus d'une augmentation des coûts de 8,5 % par réclamation pour les travailleuses et travailleurs de nuit comparativement aux travailleuses et travailleurs de jour. De plus, la période de retour à domicile après un quart de travail de nuit (Akerstedt, Peters, Anund et Kecklund, 2005) augmente particulièrement le risque d'accidents de la route, lesquels peuvent être mortels pour les travailleuses et travailleurs.

Cette problématique est bien réelle pour les équipes d'urgence. Les études menées auprès de policiers indiquent que souvent ces derniers dorment mal (Neylan *et al.*, 2002). Le travail de nuit détériore leur sommeil et qualité de vie et leur induit un stress important (Ramey *et al.*, 2012). Le risque que des policiers dorment moins de 6 heures par jour est augmenté de près de 15 fois s'ils travaillent en dehors des heures conventionnelles de jour (Ramey *et al.*, 2012). Les policiers qui travaillent de longues heures rapportent de la fatigue occasionnée par leur travail (Violanti, J. M. et Gehrke, 2004). Dans un sondage auprès de policiers finlandais sur la fatigue au volant, environ 10 % d'entre eux ont rapporté avoir conduit avec des facultés affaiblies par la fatigue et le manque de sommeil, même si cette question ne leur était pas directement posée. Cette situation se manifestait surtout lors du retour à domicile après un quart de travail de nuit (Radun, Ohisalo, Radun et Kecklund, 2011). Or, les perturbations du sommeil demeurent des

facteurs importants contribuant aux accidents de la circulation chez les policiers en autopatrouille (Garbarino *et al.*, 2002). Des policiers italiens ont été questionnés sur les circonstances d'accidents au travail, lors de la conduite automobile, ou à domicile. Ces derniers ont déclaré que les accidents étaient secondaires à leur fatigue 2 fois plus souvent (5,6 % vs 2,4 %) s'ils travaillaient sur des horaires atypiques comparativement au travail de jour (Garbarino *et al.*, 2002). Le travail de nuit détériore la vigilance, les performances psychomotrices et les habiletés de conduite des policiers (Waggoner, Grant, Van Dongen, Belenky et Vila, 2012), ce qui augmente leur risque d'accidents au travail (Wagstaff et Sigstad Lie, 2011).

En plus d'un risque accru d'accidents, les travailleuses et travailleurs par quarts présentent un risque plus élevé de développer plusieurs maladies chroniques telles que des maladies cardiovasculaires et troubles métaboliques, des maladies gastro-intestinales, divers types de cancers ainsi que des troubles psychologiques (Boivin, D. B. et Boudreau, 2014; James, S. M., Honn, Gaddameedhi et Van Dongen, 2017; Kervezee, Kosmadopoulos et Boivin, 2020; Kervezee, Shechter et Boivin, 2018; Leger, Esquirol, Gronfier, Metlaine et Groupe consensus chronobiologie et sommeil de la Société française de recherche et médecine du, 2018; Moreno *et al.*, 2019). Cette situation contribue au haut taux d'absentéisme rapporté chez les travailleurs par quarts (d'Errico et Costa, 2012; Wong *et al.*, 2011). L'analyse des accidents au travail entre 1994 et 2010 chez les policiers de la ville de Buffalo (Violanti, John M *et al.*, 2011) indique d'ailleurs que le travail de nuit augmente de 3,12 et 2,21 fois (risque relatif ajusté) le risque d'invalidité de longue durée (≥ 90 jours) comparativement au travail de jour et soir, respectivement.

La fatigue est un concept compris de tous, mais difficile à cerner. On peut la définir comme une sensation d'épuisement physique ou mental, s'accompagnant ou non de somnolence. Son niveau est difficile à quantifier objectivement et varie d'une personne à l'autre même dans des conditions identiques de travail. Les causes de la fatigue englobent de multiples facteurs physiologiques (perturbations circadiennes, variations hormonales, etc.), liés au travail (effort physique et mental, charge de travail, pauses et périodes de repos, etc.) et personnels (âge, sexe, contexte familial, conditions médicales et psychologiques, etc.) qui ont une influence variable d'une personne à l'autre. Ressentie de façon intense au travail, la fatigue peut s'associer à un risque accru d'erreurs, de baisse de performance et peut mener à des accidents (Dawson, Chapman et Thomas, 2012). À long terme, la fatigue influence la qualité de vie et s'associe à un risque accru de diverses maladies (Kecklund et Axelsson, 2016). La présente étude vise à quantifier la fatigue ressentie au travail et associer un risque à cette dernière. Dans ce contexte, la notion de fatigue est restreinte à celle de baisse de vigilance, d'attention et de performance, ou de somnolence.

1.2 Origine du projet

Les membres du groupe de liaison police de l'Association paritaire pour la santé et sécurité du travail, secteur « affaires municipales » (APSAM) ont exprimé un intérêt marqué pour l'approche par système de gestion des risques liés à la fatigue (SGRF) qui leur a été présentée par la chercheuse principale (Diane. B. Boivin). La démarche proposée dans la présente étude répond à un besoin exprimé à de multiples reprises par les partenaires de divers services de police. À la suite de présentations du projet, deux services de police ont exprimé un intérêt de participer à ce dernier. En effet, ces derniers désirent s'outiller pour quantifier les risques liés à la fatigue de leurs employés, et ce, sans modifier leurs horaires de travail ni utiliser des lampes de luminothérapie (voir notre étude antérieure : (Boivin, D. B., Tremblay et Boudreau, 2010, supportée par l'IRSST).

2. ÉTAT DES CONNAISSANCES

2.1 Rythmes circadiens et régulation du sommeil et de l'éveil

La plupart des fonctions physiologiques et psychologiques varie selon un rythme de 24 heures. Cette rythmicité est qualifiée de circadienne, car elle dure environ une journée (du latin *circa* qui signifie « autour », et *dies* qui signifie « jour »). Chez les mammifères, dont l'humain, un oscillateur circadien principal est localisé dans les noyaux suprachiasmatiques (NSCs) de l'hypothalamus antérieur. Une série de gènes régule la transcription de protéines et leur oscillation est responsable de la génération des rythmes circadiens (Cermakian et Boivin, 2003). D'ailleurs, le prix Nobel de physiologie et médecine a été attribué en 2017 à trois chercheurs qui ont clarifié les mécanismes moléculaires à la base de ces oscillations. En plus de l'horloge biologique centrale, des horloges périphériques ont été découvertes dans la grande majorité des tissus étudiés (Cermakian et Boivin, 2003; Leger *et al.*, 2018). Le fonctionnement des organes est donc coordonné grâce aux horloges circadiennes à travers le corps et aux signaux provenant de l'horloge centrale (Mohawk, Green et Takahashi, 2012).

L'oscillateur circadien s'ajuste à son environnement grâce à l'exposition quotidienne à des synchronisateurs externes dont le plus puissant est la lumière (Prayag, Munch, Aeschbach, Chellappa et Gronfier, 2019). L'information lumineuse perçue par la rétine est transmise aux NSCs via la voie rétino-hypothalamique, une voie monosynaptique directe et puissante. Une population de cellules ganglionnaires de la rétine contenant de la mélanopsine est impliquée dans la réponse d'entraînement par la lumière du système circadien, bien que les cônes et les bâtonnets rétiens jouent aussi un rôle dans la synchronisation de l'oscillateur circadien par la lumière (Czeisler et Buxton, 2010). Ainsi, l'exposition à la lumière peut déplacer les rythmes de l'horloge centrale (Davidson, Castanon-Cervantes, Leise, Molyneux et Harrington, 2009; Rahman, Wright, Lockley, Czeisler et Gronfier, 2019; Ruge *et al.*, 2013; St Hilaire *et al.*, 2012; Vitaterna *et al.*, 2006; Yan et Silver, 2004) et des horloges périphériques (Davidson *et al.*, 2009; James, F. O., Cermakian et Boivin, 2007) vers d'autres fuseaux horaires internes (appelés *phases circadiennes*). Lors de changements abrupts dans l'horaire de sommeil/noirceur, les horloges centrales et périphériques s'adapteront à des vitesses différentes (Davidson *et al.*, 2009; James, F. O., Cermakian, *et al.*, 2007). Ce phénomène est fréquent chez les travailleuses et travailleurs par quarts, ce qui produit une désynchronisation entre les horloges circadiennes et également entre ces horloges circadiennes et l'environnement. Cette situation entraîne des perturbations du sommeil et de l'éveil, une chute des performances et augmente le risque de développer divers problèmes médicaux tels que des troubles métaboliques et maladies cardiovasculaires, des maladies gastro-intestinales, divers types de cancers ainsi que des troubles psychologiques (Boivin, D. B. et Boudreau, 2014; Kervezee *et al.*, 2020; Kervezee *et al.*, 2018).

Une harmonie délicate entre des processus *circadien* et *homéostatique* est requise pour un sommeil et un éveil de qualité (Borbely, 1982). Le processus circadien explique le fait qu'une période de sommeil est plus longue et efficace si elle est planifiée la nuit plutôt que le jour. Ce processus affecte également les niveaux de vigilance et de performance qui seront meilleurs le jour que la nuit. Le processus homéostatique représente la fatigue qui s'accumule et se dissipe au cours des périodes d'éveil et de sommeil, respectivement. Ainsi, plus un individu est éveillé longtemps, plus il présentera des signes de fatigue et une baisse de vigilance. Lorsque l'horaire

de sommeil est perturbé et irrégulier, des décalages surviennent entre les processus circadien et homéostatique. Cette situation entraîne des perturbations notables du sommeil et de la vigilance, lesquelles affectent le risque d'incidents et accidents au travail. La présente étude prend en considération ces deux processus et analyse les niveaux de fatigue en fonction de l'heure de la journée et en fonction de la durée d'éveil.

2.2 Horaires de travail et cycle éveil-sommeil

Les travailleuses et travailleurs de nuit se plaignent souvent d'un sommeil de mauvaise qualité, abrégé et de symptômes d'insomnie (Boivin, D. B., Boudreau, James et Kin, 2012; Ferguson, Baker, Lamond, Kennaway et Dawson, 2010; Garde, Hansen et Hansen, 2009; Lee, H. J. *et al.*, 2018; Malmberg *et al.*, 2010; Niu *et al.*, 2011; Ohayon, Smolensky et Roth, 2010; Paech, Jay, Lamond, Roach et Ferguson, 2010; Ruggiero, Redeker, Fiedler, Avi-Itzhak et Fischetti, 2012). Dans une étude auprès de plus de 2 500 travailleurs âgés de 18 - 65 ans, des symptômes d'insomnie ou de somnolence sévère correspondant à un trouble d'adaptation du travailleur par quarts ont été observés chez 32,1 % des travailleurs de nuit et 26,1 % des travailleurs sur quarts rotatifs comparativement à 18 % des travailleurs de jour (Drake, Roehrs, Richardson, Walsh et Roth, 2004). L'évaluation du sommeil par enregistrement polysomnographique révèle que la durée moyenne de la période de sommeil diurne est souvent écourtée de 1 - 4 heures comparativement au sommeil de nuit (Akerstedt et Wright, 2009; Arendt, 2010; Boivin, D. B., Boudreau, James, *et al.*, 2012; Pilcher, Lambert et Huffcutt, 2000). Cela entraîne un besoin de récupération et une augmentation de 8 - 43 % de la durée des périodes de sommeil nocturne lors des journées de congé (Ferguson *et al.*, 2010; Garde *et al.*, 2009; Paech *et al.*, 2010).

Ces résultats ne sont pas surprenants, car un individu dort mieux et est plus performant lorsqu'il est éveillé de jour et dort la nuit (Achermann et Borbély, 2011). Lorsqu'un individu doit travailler de nuit et dormir de jour, il force son organisme à vivre à des heures biologiques internes défavorables, un peu comme un voyageur qui se déplace rapidement en avion à travers plusieurs fuseaux horaires. Malheureusement, l'ajustement des horloges centrale et périphériques à un décalage horaire est un processus lent (Davidson *et al.*, 2009; James, F. O., Boivin, Charbonneau, Belanger et Cermakian, 2007; Ruger *et al.*, 2013; St Hilaire *et al.*, 2012) et elle demeure problématique pour les travailleuses et travailleurs de nuit, car ceux-ci continuent de vivre dans un environnement orienté de jour. Les faibles niveaux de luminosité la nuit, l'exposition matinale à la lumière solaire lors du retour à domicile et les niveaux élevés de lumière le jour sont des facteurs qui empêchent l'ajustement circadien au travail de nuit. Un ajustement partiel au travail de nuit surviendrait chez $\leq 25\%$ de cette population alors que la majorité d'entre eux ($\geq 72\%$) ne présenterait aucune adaptation circadienne (Folkard, 2008). Par contre, la prévalence exacte d'ajustement circadien au travail de nuit demeure un sujet de controverse. Une étude antérieure menée auprès de 15 policiers patrouilleurs montre que 41 % d'entre eux ont présenté un ajustement circadien après 7 quarts de nuit (Boivin, D. B., Boudreau et Tremblay, 2012; Boivin, D. B. *et al.*, 2010; Boudreau, Dumont et Boivin, 2013) Le degré d'ajustement circadien au travail de nuit est important, car il affecte significativement la durée du sommeil diurne (Boivin, D. B., Boudreau, James, *et al.*, 2012) et les performances psychomotrices des travailleuses et travailleurs (Boivin, D. B., Boudreau et Tremblay, 2012; Boudreau *et al.*, 2013). Il est donc important, comme cela a été fait dans la présente étude, de documenter le degré d'ajustement circadien au cours du cycle de travail.

L'organisation du travail est connue pour affecter le sommeil, la fatigue et les performances des travailleurs. Tout travail nécessitant que les équipes offrent une prestation de services 24 heures sur 24, 7 jours par semaine, comporte un risque accru de fatigue, d'erreurs et d'accidents. Comparativement au travail de jour, le travail sur horaires atypiques et les longues périodes de travail augmentent le risque d'accidents (Mulhall *et al.*, 2019; Wagstaff et Sigstad Lie, 2011). Ce risque est habituellement maximal pour les quarts de nuit et ceux démarrant tôt le matin (Flynn-Evans *et al.*, 2018; Gander *et al.*, 2020; Ganesan *et al.*, 2019; Violanti, J. M. *et al.*, 2012; Wagstaff et Sigstad Lie, 2011). Les périodes de repos réduites augmentent la fatigue et le risque d'erreurs (Akerstedt et Kecklund, 2017; Gander *et al.*, 2020; Min, Min et Hong, 2019). Le nombre de quarts consécutifs (Magee *et al.*, 2016) et la direction des horaires rotatifs sont aussi importants. Les horaires rotatifs rapides qualifiés de « counterclockwise » (en sens antihoraire, par exemple, succession de soir, jour, nuit) causent plus de fatigue et une plus grande restriction de sommeil que ceux qualifiés de « clockwise » (en sens horaire, p. ex. : succession de jour, soir, nuit) (Driscoll, Grunstein et Rogers, 2007; van Amelsvoort, Jansen, Swaen, van den Brandt et Kant, 2004). Par contre, il faut souligner qu'aucune organisation du travail et aucune contremesure à la fatigue ne peuvent éliminer complètement ces risques de santé et de sécurité liés aux horaires atypiques de travail.

2.3 Privation de sommeil et vigilance

La privation aiguë de sommeil détériore les niveaux de vigilance et les performances des individus. Après 12 - 24 heures éveillées, les performances psychomotrices chutent d'environ 1,70 écart-type (É.T.) sous les niveaux de base (Lo *et al.*, 2012; Van Dongen, Maislin et Dinges, 2004; Zhou *et al.*, 2012). Ce phénomène a été rapporté pour les niveaux subjectifs de vigilance (Philip *et al.*, 2012; Van Dongen, Maislin, *et al.*, 2004; Zhou *et al.*, 2012), les niveaux objectifs et subjectifs de somnolence (Lo *et al.*, 2012; Philip *et al.*, 2012; Van Dongen, Maislin, *et al.*, 2004) et la mémoire de travail (Lo *et al.*, 2012). La fatigue causée par le travail par quarts diminue les performances cognitives et augmente le nombre de réactions manquées à la tâche de vigilance psychomotrice (TVP) (Axelsson *et al.*, 2008; Boivin, D. B., Boudreau et Tremblay, 2012; Crowley, Lee, Tseng, Fogg et Eastman, 2004; Dula, Dula, Hamrick et Wood, 2001; Lo *et al.*, 2012; Santhi, Horowitz, Duffy et Czeisler, 2007; Smith, Fogg et Eastman, 2009; Van Dongen, Maislin, *et al.*, 2004; Zhou *et al.*, 2012). Chaque heure de travail cumulée et chaque heure de sommeil perdue augmenterait le risque de somnolence sévère au travail de 15 - 35 % (Harma, Sallinen, Ranta, Mutanen et Muller, 2002; Sallinen, M. *et al.*, 2003). Le nombre d'heures consécutives éveillées est donc un paramètre important qui affecte la fatigue, la vigilance et les performances des travailleuses et travailleurs.

La restriction chronique de sommeil peut détériorer les performances des individus au même titre que la privation aiguë de sommeil. Ainsi, des expériences en laboratoire chez 48 individus de 21 - 38 ans ont montré qu'une restriction de sommeil à 6 heures 27 minutes par jour pendant 14 jours détériore les performances psychomotrices de manière comparable à 24 heures d'éveil continu (Van Dongen, Maislin, Mullington et Dinges, 2003). Par contre, il est difficile d'utiliser les changements observés lors d'études menées en laboratoire pour estimer la taille des effets de la restriction du sommeil dans un contexte naturel de vie (Dawson, Ian Noy, Harma, Akerstedt et Belenky, 2011; Kandelaars, Fletcher, Dorrian, Baulk et Dawson, 2006; Van Dongen, 2004). Il est donc important de mener des études terrain, comme la présente étude, afin d'explorer l'impact de la privation aiguë et chronique de sommeil de travailleuses et travailleurs dans leur environnement habituel de travail.

L'heure de la journée affecte aussi la vigilance et performance. Une baisse des niveaux subjectifs de vigilance, des performances psychomotrices, de la mémoire et de la capacité à résoudre des problèmes est souvent observée chez les travailleuses et travailleurs de nuit (Axelsson *et al.*, 2008; Boivin, D. B., Boudreau et Tremblay, 2012; Crowley *et al.*, 2004; Dula *et al.*, 2001; Santhi *et al.*, 2007; Smith *et al.*, 2009), avec des valeurs minimales en fin de nuit (Silva, Wang, Ronda, Wyatt et Duffy, 2010). La présente étude a quantifié l'impact de la privation aiguë et chronique de sommeil, de la durée d'éveil et de l'heure de la journée sur les variables de fatigue et comment ces facteurs affectent les risques liés à la fatigue.

Les études antérieures indiquent que les évaluations subjectives que font les individus de leurs niveaux de vigilance ne correspondent pas toujours aux changements objectifs de performance (Zhou *et al.*, 2012). La présente étude comprend la collecte en milieu de travail de données subjectives de vigilance, mais aussi objectives de performance. Les deux types de variables ont simultanément été considérés pour évaluer les risques liés à la fatigue.

Une variabilité importante est observée entre les individus quant à l'impact de la privation de sommeil sur leurs performances. Ainsi, le nombre de réactions manquées (laps avec temps de réaction ≥ 500 ms à la TVP) observés dans un groupe de participants soumis à 24 heures de privation de sommeil variait entre 5 à 80 durant une TVP de 10 minutes (Van Dongen *et al.*, 2003). Dans la présente étude originale, chaque policière et policier et a été suivi au cours d'un cycle complet de travail de sorte que les analyses effectuées tiennent compte de la variabilité individuelle.

2.4 Fatigue au travail et risque d'accidents

Comme la vigilance et la performance, le risque d'incidents et accidents liés à la fatigue est affecté par la durée d'éveil, la privation de sommeil et l'heure de la journée (Akerstedt, 2019; Leger et Ement, 2015). Les études menées dans l'industrie du transport confirment que le risque d'accident fatal pour le conducteur augmente avec les heures consécutives d'éveil et varie avec l'heure du jour (Boivin, D. B., 2000; de Pinho *et al.*, 2006; Jay, Dawson et Lamond, 2006; Jones *et al.*, 2006).

L'horaire de travail affecte le risque d'accidents. Un risque accru d'accidents de travail fut observé lors du travail de nuit (rapport des chances (RC) = 1,92) et rotatif (RC = 1,48) comparativement au travail de jour dans un échantillon représentatif de travailleuses et travailleurs canadiens (Wong *et al.*, 2011). Un risque 2,77 fois plus élevé d'accident a été observé chez des travailleurs américains sur des quarts de nuit par rapport aux travailleurs de jour (Swanson *et al.*, 2011). Une méta-analyse a révélé que les horaires de travail de nuit ou rotatif sont associés à une augmentation de 50 à 100 % de la fréquence d'accidents (Wagstaff et Sigstad Lie, 2011). Le travail par quarts est associé à un risque accru d'accidents chez les policiers (Vila, 2006) et chez les conducteurs professionnels (Philip, 2005), en particulier durant la nuit. Les dernières heures de travail en fin de nuit sont une période particulièrement à risque pour la survenue d'incidents et d'accidents au travail occasionnés par la fatigue (Akerstedt *et al.*, 2005; Barger *et al.*, 2005; Di Milia, Rogers et Akerstedt, 2012; Garbarino *et al.*, 2016; Wagstaff et Sigstad Lie, 2011; Wong *et al.*, 2011).

Le risque d'accidents au travail augmente non seulement en fonction de la privation aiguë de sommeil, mais aussi en fonction de la dette cumulée de sommeil (Raslear, Hursh et Van Dongen, 2011). Selon *le National Health Interview Survey 2010*, le fait de dormir moins de 6 heures par nuit, situation fréquente pour les travailleuses et travailleurs par quarts (Pilcher *et al.*, 2000; Wang *et al.*, 2012), augmenterait de 86 % le risque d'accidents au travail comparativement à un travailleur qui dort 7 à 8 heures par nuit (Lombardi *et al.*, 2012).

Certaines études se sont concentrées sur les compétences de conduite et les accidents survenus chez les travailleurs des services d'urgence. En 2002, un groupe composé de 1 280 policiers a été étudié en regard de leur sommeil, fatigue et des accidents routiers. Dans cette étude, 611 policiers travaillant sur des quarts ont rapporté avoir plus de problèmes de sommeil et plus d'accidents de la circulation qu'ils associaient à la fatigue que les policiers qui ne travaillaient pas sur des quarts (11,1 % comparé à 5,4 %) (Garbarino *et al.*, 2002). Similairement aux États-Unis, un groupe de 29 policiers patrouilleurs ont été testés à la même heure du jour sur un simulateur de conduite après 5 quarts de nuit comparativement à 3 jours de repos. Les déviations sur la voie de circulation ont été 3 fois plus élevées et la fatigue augmentée de 57 % après les quarts de nuit qu'après les journées de repos (Waggoner *et al.*, 2012). Dans une autre étude, 78 policiers ont été testés sur simulateur de conduite après une série de quarts de nuit. Une augmentation des risques de collision et de déviation de la voie de circulation de 10 % et 60 % a été observée, respectivement, comparé à une journée de repos (James, S., Vila, Fridell et Gustafson, 2015).

Pour tous les travailleuses et travailleurs par quarts, le retour à domicile après des heures de travail prolongées (Anderson *et al.*, 2018; Barger *et al.*, 2005) ou après un quart de nuit (Akerstedt, 2019; Akerstedt *et al.*, 2005) est associé à un risque élevé de collisions automobiles (Di Milia *et al.*, 2012; Jones *et al.*, 2006). La somnolence et les perturbations du sommeil demeurent des facteurs importants contribuant aux accidents de la circulation (Garbarino, Nobili, Beelke, De Carli et Ferrillo, 2001), incluant ceux survenant chez les policiers en autopatrouille (Garbarino *et al.*, 2002; Vila, 2000). Une méta-analyse indique que la somnolence au volant augmenterait significativement le risque d'accident (RC = 2,51) (Bioulac *et al.*, 2017).

2.5 Comparaison entre l'effet de l'alcool et de la privation de sommeil

Dans un contexte de gestion de la fatigue chez des travailleuses et travailleurs sur horaires rotatifs, il est important de définir des seuils quant aux déficits acceptables ou dangereux liés à la fatigue. Considérant les implications légales pour les policiers patrouilleurs de travailler avec des facultés affaiblies, la présente étude a considéré les données probantes sur les études comparant les baisses de performance liées à la privation de sommeil à celles occasionnées par l'alcool. Des études en laboratoire ont montré que l'alcool cause des déficits cognitifs lors de tâches complexes telles que des tâches d'attention divisée, de poursuite aléatoire, de recherche visuelle, de raisonnement logique, de mémoire spatiale et lors de tests de simulation de conduite (Arnedt, Owens, Crouch, Stahl et Carskadon, 2005; Arnedt, Wilde, Munt et MacLean, 2001; Dawson et Reid, 1997; Fairclough et Graham, 1999; Falletti, Maruff, Collie, Darby et McStephen, 2003; Lamond et Dawson, 1999; Lamond *et al.*, 2004; Maruff, Falletti, Collie, Darby et McStephen, 2005; Ogden et Moskowitz, 2004; Roach, Dorrian, Fletcher et Dawson, 2001; Williamson et Feyer, 2000; Williamson, Feyer, Mattick, Friswell et Finlay-Brown, 2001). La fatigue et la somnolence peuvent influencer notre capacité à conduire un véhicule automobile au même titre que l'alcool (Arnedt *et al.*, 2001; Fairclough et Graham, 1999). Des études comparatives ont montré qu'une période de ≥ 22 heures consécutives d'éveil augmente le temps de réaction de manière

comparable à un taux d'alcoolémie de $\geq 0,08$ g/100 ml (Dawson et Reid, 1997; Lamond et Dawson, 1999; Williamson et Feyer, 2000; Williamson *et al.*, 2001), ou du moins de $\geq 0,05$ g/100 ml (Falletti *et al.*, 2003; Maruff *et al.*, 2005). Ces baisses de performance s'observent aussi lorsque les participants sont soumis à des tests en simulateur de conduite (Arnedt *et al.*, 2001; Fairclough et Graham, 1999). Il est à noter qu'une grande variabilité interindividuelle existe autant en réaction à un niveau d'alcool sous les 0,10 g/100 ml (Ogden et Moskowitz, 2004) qu'à une privation de sommeil (Van Dongen et Belenky, 2009). À ce jour, la durée d'éveil qui altère les performances de manière similaire à un niveau d'alcoolémie donné est difficile à établir précisément.

2.6 Contremesures à la fatigue au travail

Une panoplie de contremesures a été proposée pour réduire la fatigue des travailleuses et travailleurs par quarts telles que l'utilisation de luminothérapie (Boivin, D. B. et James, 2002b; Boivin, D. B. *et al.*, 2010; Sletten *et al.*, 2017), de mélatonine (Cohen, Wang, Klerman et Rajaratnam, 2010; Hardeland, 2009), d'hypnotiques (Roth, 2012), de modafinil (un stimulant) (Czeisler *et al.*, 2005; Roth, 2012), de caféine (Morgenthaler *et al.*, 2007), la planification de siestes (Fallis, McMillan et Edwards, 2011; Faraut, Andrillon, Vecchierini et Leger, 2017; Macchi, Boulos, Ranney, Simmons et Campbell, 2002; Takeyama, Kubo et Itani, 2005), la révision de l'hygiène de sommeil (Boivin, D. B., 2000; Booker *et al.*, 2020; Smiley *et al.*, 2009; Wright, Bogan et Wyatt, 2013) et la thérapie cognitive comportementale chez les travailleuses et travailleurs souffrant d'insomnie chronique (Jarnefelt *et al.*, 2012). L'utilisation de technologies de détection de la somnolence au travail a aussi été proposée pour prévenir les accidents et les erreurs associées au travail par quarts (Chua *et al.*, 2012; Golz, Sommer, Trutschel, Sirois et Edwards, 2010). Par contre, ces aides technologiques alertent souvent le travailleur lorsque la somnolence est déjà installée. Elles devraient idéalement s'intégrer à un programme complet de gestion de la fatigue combinant éducation et utilisation de contremesures variées (Boivin, D. B., 2000).

Certaines contremesures ont pour but d'améliorer l'ajustement du système circadien à l'horaire atypique de travail. Lors d'études antérieures supportées par l'IRSST, le cycle lumière-obscurité a été manipulé afin d'améliorer l'adaptation circadienne au travail de nuit d'infirmières et de policiers patrouilleurs (Boivin, D. B. et James, 2002b; Boivin, D. B. *et al.*, 2010). Une approche combinant l'exposition à des lampes de luminothérapie pendant les 6 premières heures des quarts de nuit, le port de lunettes sombres le matin et le maintien d'un horaire régulier de sommeil diurne a produit un ajustement complet des rythmes de température corporelle, de mélatonine et de cortisol salivaire au travail de nuit chez 15 infirmières (9 femmes, 6 hommes; 25-53 ans) (Boivin, D. B., Boudreau, James, *et al.*, 2012; Boivin, D. B. et James, 2002a; James, F. O., Walker et Boivin, 2004). Cet ajustement circadien s'est accompagné d'un allongement de la période diurne de sommeil comparativement au groupe témoin (Boivin, D. B., Boudreau, James, *et al.*, 2012). Une étude chez 15 policières (8 femmes, 7 hommes; $29,8 \pm 6,5$ ans) a révélé que le port de lunettes orangées le matin peut produire un ajustement partiel au travail de nuit et stabiliser les performances psychomotrices au cours d'une série de 7 quarts consécutifs de nuit (Boivin, D. B., Boudreau et Tremblay, 2012). De plus, il a été démontré que les policiers qui présentent un ajustement circadien sont aussi vigilants et performants la nuit que le jour, et dorment aussi bien le jour que la nuit (Boudreau *et al.*, 2013).

Des siestes prophylactiques et récupératrices peuvent aussi être envisagées pour augmenter le temps total de sommeil au cours de la journée et améliorer la vigilance et performance au travail (Fallis *et al.*, 2011; Macchi *et al.*, 2002; Takeyama *et al.*, 2005). Les siestes prophylactiques sont planifiées avant un quart de nuit et visent à réduire les heures consécutives d'éveil. Les siestes récupératrices sont prises au travail, pendant les pauses, et visent à réduire la somnolence au travail lorsqu'elle survient. L'inertie du sommeil est un facteur important à considérer lorsqu'une sieste est planifiée en période de travail de nuit puisque le niveau de vigilance peut être temporairement affecté (Takeyama *et al.*, 2005). De plus, l'augmentation du temps de sommeil la nuit en se couchant plus tôt n'améliorerait pas les performances cognitives lors d'une nuit subséquente de privation de sommeil (Rabat *et al.*, 2019). Par contre, cette observation pourrait différer chez des travailleurs en manque chronique de sommeil. Ces diverses contremesures sont utiles, mais aucune n'est suffisante à elle seule pour éliminer la fatigue des travailleuses et travailleurs. C'est pourquoi une approche globale, utilisant un SGRF, est recommandée pour réduire les risques que cette fatigue occasionne des erreurs, incidents et accidents au travail.

2.7 Systèmes de gestion des risques liés à la fatigue

Dans la plupart des secteurs d'activité et industries, l'organisation des horaires de travail repose sur des conventions qui dictent la durée maximale de travail et la durée minimale de repos entre les quarts. Cette approche purement réglementaire est basée sur les heures de service et tient rarement compte des autres facteurs clés modulant la fatigue tels que le temps de sommeil du travailleur, son degré d'ajustement circadien, sa charge de travail, le temps de déplacement entre son domicile et son lieu de travail. Afin de gérer plus efficacement les risques liés à la fatigue, différents gouvernements à travers le monde délaissent progressivement l'approche purement réglementaire au profit de politiques plus souples encourageant l'implantation de SGRF (Dawson *et al.*, 2011; Gander *et al.*, 2011; Honn, HPA et Dawson, 2019; Thomas et Ferguson, 2010). Ces systèmes visent à assouplir le cadre législatif pour transférer et partager la responsabilité de gérer la fatigue entre les employés et leurs employeurs. Un SGRF inclut des stratégies de réduction de la fatigue pour limiter les risques qu'un individu soit fatigué au travail. Il inclut également des stratégies de mitigation de la fatigue pour diminuer les risques d'accidents que représente un travailleur fatigué. Comme un SGRF est une démarche validée scientifiquement, elle comporte la collecte de données terrain et le développement d'instruments, mesures, modèles et procédures permettant d'enregistrer et de prédire les niveaux de fatigue chez les travailleuses et travailleurs. La présente étude vise à établir les bases scientifiques d'un SGRF pour les services de police participants.

Plusieurs modèles de prédiction de la fatigue ou de la vigilance ont été proposés (CAS (Moore-Ede *et al.*, 2004), FAID (Roach, Fletcher et Dawson, 2004), INM (Jewett et Kronauer, 1999), SAFTE (Hursh *et al.*, 2004), SWM (Akerstedt, Folkard et Portin, 2004), SAFE (Belyavin et Spencer, 2004), PULSAR (Belyavin et Spencer, 2004), UMP (Rajdev *et al.*, 2013)). La majorité de ces modèles acceptent, comme paramètres d'entrée, l'horaire de sommeil (ou son estimation à partir de l'horaire de travail) et fournissent une prédiction de la vigilance ou de la fatigue en fonction du temps d'éveil. Certains modèles permettent la saisie de paramètres additionnels tels que l'exposition à la lumière ou les changements de fuseaux horaires (Van Dongen, 2004), la privation et restriction de sommeil et la consommation de caféine (Rajdev *et al.*, 2013). Certains auteurs ont également tenté d'individualiser leur prédiction à partir de la collecte de données en temps réel (Liu, Ramakrishnan, Laxminarayan, Balkin et Reifman, 2017). Par contre, cette approche n'a été testée qu'auprès de jeunes adultes en bonne santé, dans des conditions de

laboratoire (Liu *et al.*, 2017; Rajdev *et al.*, 2013; Reifman *et al.*, 2019). Le modèle à deux processus régulant le sommeil (processus homéostatique et circadien) proposé par Borbely (1982) est au cœur de ces modèles prédictifs. Ce modèle, ainsi que ceux qui en découlent, ont principalement été développés et validés à partir de données obtenues en laboratoire auprès de sujets jeunes en bonne santé, bien que certains aient été ultérieurement ajustés avec des données terrain (Mallis, Mejdal, Nguyen et Dinges, 2004). Or les données obtenues en laboratoire ne peuvent pas être transposées directement à des contextes réels de travail. Cette observation souligne le caractère novateur de la présente étude et de l'outil prédictif des risques liés à la fatigue, lequel repose totalement sur des données probantes collectées en milieu réel de travail chez de vrais travailleurs postés.

Dans la présente étude, un outil de prédiction des risques liés à la fatigue au travail a été développé pour deux groupes composés de policières et policiers travaillant en patrouille. Cet outil a été élaboré sur la base de données terrain collectées chez ces policières et policiers. Quatre niveaux de risque liés à la fatigue ont été définis sur la base d'analogies avec d'une part des baisses de performance induites par l'alcool et d'autre part celles corrélées à des niveaux de somnolence. Comme pour notre étude précédente (Boudreau *et al.*, 2013), certaines données démographiques des travailleuses et travailleurs ont été considérées pour mieux comprendre les facteurs individuels modulant l'adaptation au travail par quarts.

2.8 Originalité du projet en regard des connaissances existantes

Le présent projet utilise une approche globale pour réduire les risques d'incidents et d'accidents au travail et consiste en la première phase mise d'un SGRF. Un SGRF est une approche d'évaluation des risques, encadrée scientifiquement, dont le but est de réduire les risques que des incidents et accidents surviennent au travail à cause de la fatigue. Un SGRF reconnaît que la fatigue au travail peut survenir et qu'elle est une responsabilité partagée entre les employeurs et leurs employés. Les employeurs doivent fournir des conditions qui permettent aux travailleuses et travailleurs de se reposer entre leurs quarts de travail et de gérer la fatigue qui s'accumule en raison des heures et quarts de travail successifs. Les employés doivent maximiser leur sommeil lors de leurs périodes de repos. Un SGRF fournit un climat propice, non discriminatoire, pour échanger sur les niveaux de fatigue au travail. Cette approche dépasse le simple cadre réglementaire, basé sur les heures de travail. Elle tient compte de facteurs clés comme l'horaire de sommeil et d'éveil, la nature de la tâche, la durée de travail, l'adaptation de l'horloge biologique, lesquels affectent l'apparition de fatigue au travail. Un SGRF offre aux organisations et à leurs employés un outil pour quantifier adéquatement les risques liés à la fatigue dans leur organisation. L'originalité de la présente étude est d'avoir quantifié ces facteurs clés chez les facteurs clés influençant la fatigue des policières et policiers directement dans leur milieu de travail. Par le fait même, cette étude comble une des lacunes dans les données probantes sur le sujet. Les facteurs clés ont été intégrés dans le développement d'un outil de prédiction des risques liés à la fatigue. Cet outil offre aux services de police qui ont participé au projet la possibilité d'identifier rapidement les situations susceptibles de générer divers niveaux de risque liés à la fatigue. Par analogie aux feux de circulation, cet outil permet d'identifier des niveaux de risque faibles (vert), modérés (jaune), élevés (rouge) et très élevés (rouge foncé) de fatigue au travail. Il représente un outil, validé scientifiquement, qui permettra aux partenaires d'élaborer des interventions appropriées pour minimiser les risques d'incidents et d'accidents au travail découlant de la fatigue.

3. OBJECTIF ET HYPOTHÈSES DE RECHERCHE

L'objectif général de la présente étude est d'établir les bases scientifiques d'un SGRF auprès de policières et policiers travaillant en patrouille sur des horaires rotatifs. Il s'agit donc de l'étape de collecte de données terrain sur lesquelles repose l'élaboration d'un outil de prédiction des risques liés à la fatigue pour ces travailleuses et travailleurs.

Plusieurs facteurs contribuant à la fatigue ont été testés dans le cadre de la présente étude et les résultats ont permis de quantifier l'influence de facteurs clés affectant la fatigue au travail. Quelques hypothèses spécifiques, concernant certains facteurs, ont été élaborées lors du dépôt initial de la demande de subvention, à savoir :

Hypothèse 1 : La quantité de sommeil obtenue, par période de 24 heures, affecte les niveaux de fatigue, vigilance, somnolence et performance.

Hypothèse 2 : Ces niveaux sont affectés par les heures d'éveil cumulées au cours de la journée.

Hypothèse 3 : Ces niveaux sont affectés par le nombre d'heures consécutives de travail et d'éveil.

Hypothèse 4 : Ces niveaux sont affectés par l'horaire de travail et le degré d'adaptation circadienne à cet horaire de travail.

Hypothèse 5 : Ces niveaux sont affectés par la charge de travail.

Les facteurs testés dans le cadre de la présente étude dépassent largement ces hypothèses pointues et une approche globale et systématique de l'ensemble des facteurs considérés a été réalisée par analyses de composantes principales. Cette approche a permis d'élaborer 4 niveaux de risques liés à la fatigue, soit un niveau de risque faible, modéré, élevé et très élevé.

Il est escompté que les partenaires utiliseront cet outil de prédiction pour élaborer une grille de gestion et politique interne de gestion des risques liés à la fatigue au sein de leur organisation.

4. MÉTHODOLOGIE

4.1 Recrutement

Pour atteindre l'objectif de cette étude, l'équipe de recherche a sollicité la participation de services de police dans le but d'identifier 2 services intéressés au projet de recherche. Le plan a été d'étudier un total de 80 policières et policiers au cours d'un cycle complet de travail, comportant des quarts de jour, soir, nuit et des journées de congé.

L'étude a été approuvée par le comité d'éthique de la recherche de l'Institut universitaire en santé mentale Douglas et tous les participants ont fourni leur consentement éclairé, conformément aux politiques du comité d'éthique institutionnel.

4.2 Rencontre de démarrage avec les partenaires

La première étape du projet de recherche a consisté en une rencontre avec les partenaires. Pour chaque service de police impliqué, une rencontre de démarrage a été organisée avec des représentants patronaux, syndicaux, en ressources humaines et/ou en santé et sécurité du travail. Le but de cette rencontre a été de présenter l'objectif, méthodes et livrables du projet de recherche. Les rôles et responsabilités des partenaires et de l'équipe de recherche ont été clarifiés. Puisque les partenaires ont fait partie intégrante du projet de recherche, ils ont été impliqués dans les diverses étapes de l'étude. Un comité opérationnel local a été mis sur pied pour identifier les postes de police participant au projet, clarifier les méthodes de recrutement et déterminer l'échéancier. Des gestionnaires responsables ont été sélectionnés au sein de chaque service de police. Par leur connaissance des réalités terrain, ces gestionnaires ont été les promoteurs du projet au sein de leur organisation, ce qui a grandement facilité les efforts de recrutement et les interactions entre l'équipe de recherche et les partenaires.

4.3 Exploration des risques liés à la fatigue

Un groupe de discussion, formé d'une dizaine de policières et policiers en autopatrouille et/ou chefs d'équipe, a été organisé avec chaque service de police participant au projet. Ce groupe a été formé pour recueillir les commentaires des policières et policiers patrouilleurs sur leur expérience en termes de fatigue au travail, à savoir comment cette dernière s'exprime et quels facteurs contributeurs en augmentent le risque. Les points suivants ont été couverts : 1) périodes à risque pour l'apparition de fatigue au travail; 2) tâches à risque pour la fatigue et comment cette dernière s'exprime; 3) facteurs contribuant à la fatigue; 4) informations disponibles sur les horaires de travail, le sommeil des policières et policiers et leur degré de fatigue; 5) données opérationnelles d'intérêt à collecter pour quantifier la fatigue des policières et policiers et les risques d'incidents lors de l'exercice de leurs fonctions. À la suite de ces groupes de discussion, l'équipe de recherche a pu bonifier la collecte des données terrain considérées importantes dans la survenue de fatigue au travail et de ses risques. Ainsi, cette démarche a permis de finaliser les détails expérimentaux de l'étude terrain en s'inspirant des commentaires des partenaires.

4.4 Collecte de données

4.4.1 Recrutement et dépistage

En collaboration avec les partenaires, l'étude a été annoncée par courriel à l'ensemble des participants potentiels, c'est-à-dire à l'ensemble des policières et policiers du service de police A et du service de police B travaillant dans certains postes sélectionnés par l'état-major et par l'équipe de recherche. Les policières et policiers souhaitant participer à l'étude ont été invités à contacter directement l'équipe de recherche, par téléphone ou par courriel, pour obtenir de plus amples renseignements et pour commencer le processus de dépistage. Après leur avoir fourni un aperçu de l'étude et avoir répondu à leurs questions, un membre de l'équipe de recherche a invité les participants à remplir un questionnaire téléphonique de dépistage. Ce questionnaire a permis de vérifier que ces policières et policiers rencontrent les critères de recrutement. Les critères d'inclusion sont les suivants : 1) être âgé de 20 à 67 ans et travailler sur la patrouille; 2) effectuer ce travail à temps plein et sur un horaire rotatif. Les critères d'exclusion sont les suivants : 1) être occupé par des activités professionnelles ou sociales importantes (≥ 10 heures/semaine) autres que la fonction de policière et policier patrouilleur (par exemple, tâches militaires, autre emploi à temps partiel, cours et examens affectant leurs journées de congé); 2) souffrir de troubles de sommeil autres que les perturbations du sommeil reliées à leurs horaires de travail; ou 3) souffrir d'une condition médicale ou prendre des médicaments pouvant perturber le sommeil ou l'éveil.

Chaque questionnaire de dépistage a été évalué par l'équipe de recherche et approuvé par la chercheuse principale responsable du projet (Diane B. Boivin). À la suite de cette approbation, chaque participant a été informé de la décision et, si retenu, invité à fournir son consentement éclairé par écrit pour la suite des procédures de dépistage et de participation à l'étude. Les participants admissibles ont ensuite été soumis à un examen médical et à des tests de laboratoire afin de s'assurer de leur aptitude à participer à l'étude. Les policières et policiers présentant une pathologie du sommeil autre que les perturbations du sommeil reliées à leurs horaires de travail ont été exclus. Les participants qui consomment occasionnellement des médicaments pour dormir ont été invités à les arrêter pendant l'étude et à éviter tout autre médicament ou, si nécessaire, à signaler leur consommation à l'équipe de recherche.

4.4.2 Participants

La figure 1 présente un diagramme du nombre de participants pour chacune des étapes de recrutement et de l'étude. Au total, un groupe de 231 policières et policiers ont contacté l'équipe de recherche pour obtenir des renseignements au sujet de l'étude. De ce nombre, 150 policières et policiers ont été exclus, soit parce qu'ils ne souhaitent pas participer à l'étude après une discussion avec un membre de l'équipe de recherche, soit parce qu'ils ne rencontrent pas les critères d'inclusion et d'exclusion. Quarante-vingt-un (81) policières et policiers ont été sélectionnés pour participer à l'étude. De ce nombre, deux ont retiré leur consentement au cours de l'étude et deux ont été exclus par l'équipe de recherche pour des raisons médicales. De plus, des difficultés techniques avec l'actigraphe d'un (1) participant ont empêché d'inclure ses données dans les analyses. Ainsi, les données recueillies auprès de 76 policières et policiers ont été analysées aux fins du présent rapport.

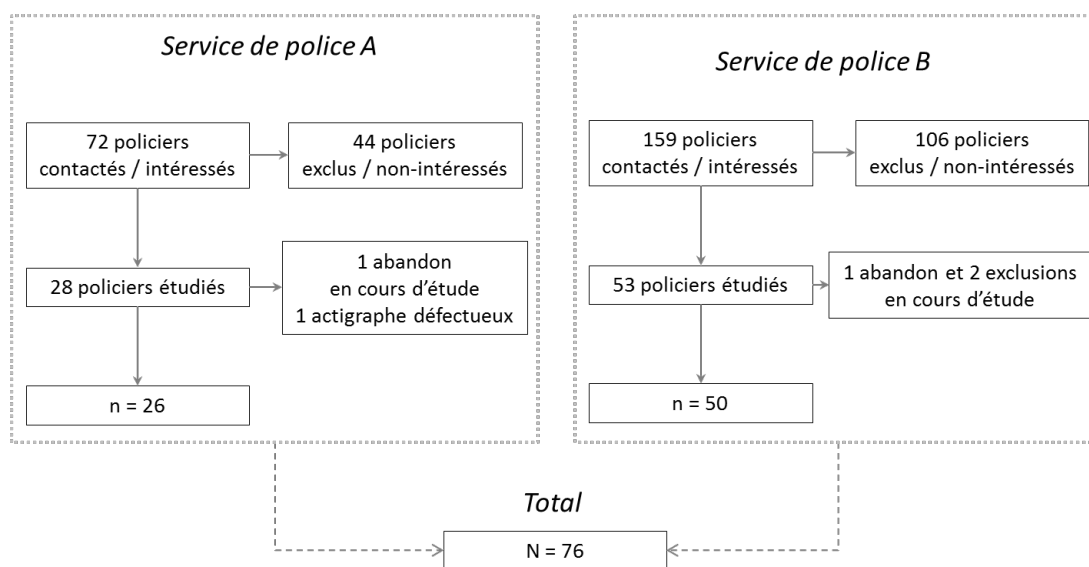


Figure 1. Diagramme de recrutement.

Un total de 76 policières et policiers patrouilleurs (20 femmes et 56 hommes) âgés de 23 à 49 ans (moyenne ± écart type : 32,0 ± 5,4 ans) a complété l'étude. De ce nombre, 26 travaillent pour le service de police A et 50 pour le service de police B. Les policières et policiers du service de police A sont rattachés à 2 postes de police tandis que les policières et policiers du service de police B proviennent de 25 postes de police situés dans différentes municipalités.

Soixante-douze policières et policiers (72) patrouilleurs travaillent sur un horaire rotatif de 35 jours consistant en une alternance de quarts de jour (07:00-16:00 ou 07:00-19:00), de soir (15:00-00:00), de nuit (22:30-07:30 ou 19:00-07:00) et de journées de congé (figure 2). Les 4 policières et policiers restants travaillent sur un horaire rotatif de 28 jours consistant en une alternance de quarts de 12 heures de jour (07:00-19:00), de nuit (19:00-07:00) et de journées de congé.

	Lun	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam	Dim
Sem. 1	C	N	N	N	N	N	N*
Sem. 2	N*	C	C	C	C	C	C
Sem. 3	J	J	J	J	C	C	C
Sem. 4	S	S	C	C	J	J*	J*
Sem. 5	C	C	S	S	S	C	C

Figure 2. Exemple d'un horaire de 35 jours de travail. C : congé; N : quart de nuit (22:30-07:30 ou 19:00-07:00*); J : quart de jour (07:00-16:00 ou 07:00-19:00*); S : quart de soir (15:00-00:00).

En respect des règles d'éthique, de confidentialité et protection de la vie privée, les informations individuelles telles que le sexe, l'âge et les dates de début et de fin de l'étude ne sont pas présentées dans ce rapport ni dans aucune publication en découlant. Les données sont rapportées sous forme de moyenne par groupe.

4.4.3 Protocole expérimental

Les policières et policiers recrutés ont participé à la collecte de données pendant un cycle de travail complet. Ce dernier est d'une durée de 28 ou 35 jours tel que décrit à la section précédente. Cette approche expérimentale a été sélectionnée pour permettre l'étude des policières et policiers sur tous les types de journées (quarts de travail de jour, soir, nuit et journées de congé). En début d'étude, les participants ont rempli une série de questionnaires généraux. Tout au long de l'étude, les policières et policiers ont travaillé dans leur environnement habituel de travail et ont continué de dormir et de s'exposer à la lumière et l'obscurité selon leurs habitudes. Au cours de l'étude, les policières et policiers ont dû remplir au moins 5 différents questionnaires sur un appareil téléphonique portatif (Google Nexus 5, LG Electronics, Séoul, Corée du Sud), incluant des questionnaires : 1) au lever; 2) en début de quart de travail ou environ 2 heures après le réveil lors des journées de congé; 3) en milieu de quart de travail ou environ 8 heures après le réveil lors des journées de congé; 4) en fin de quart de travail ou environ 2 heures avant l'heure de coucher; 5) au coucher. La collecte de données a considéré le fait que le sommeil des travailleuses et travailleurs sur horaire atypique est souvent divisé en plusieurs périodes. Ainsi, le questionnaire de lever et de coucher a été rempli avant et après chaque épisode de sommeil, respectivement, qu'il s'agisse d'un épisode principal de sommeil ou d'une sieste. Les policières et policiers ont aussi porté un bracelet d'actigraphie au poignet non dominant (Actiwatch Spectrum, Philips/Respironics). La portabilité de ce type d'appareil est un avantage pour une étude ambulatoire. Il a été choisi, car il s'agit d'un outil validé de détection du sommeil et de l'éveil (Marino *et al.*, 2013). Cet actigraphe est muni d'un détecteur de luminosité et d'un bouton marqueur d'évènement, ce qui permet de quantifier objectivement le cycle éveil-sommeil et les niveaux d'exposition à la lumière des participants. Les policières et policiers du service de police B ont reçu la consigne d'appuyer sur le bouton marqueur d'évènement au moment du coucher et du lever pour faciliter le repérage des épisodes de sommeil. À au moins 4 reprises au cours de l'étude et lors de journées de congé, les policières et policiers ont recueilli des échantillons d'urine sur une période d'environ 32 heures pour permettre de déterminer leur phase circadienne.

Avant le début de l'étude, les policières et policiers ont été individuellement contactés par téléphone pour être informés des procédures à suivre et du moment et de la manière d'exécuter chaque tâche. Ils ont reçu le matériel de recherche, soit un actigraphe, un appareil téléphonique portatif, le matériel de collecte urinaire, des questionnaires généraux et un livret d'instructions sur l'utilisation des équipements et la procédure à suivre pour remplir les questionnaires quotidiens. Afin d'assurer un suivi adéquat en cours d'étude, les participants ont été contactés une fois par semaine et ont eu accès à une assistance téléphonique 24 heures sur 24 en cas de questions ou de préoccupations.

4.4.4 Mesures

Différentes mesures ont été recueillies durant cette étude : des questionnaires généraux en début d'étude, des questionnaires de sommeil, l'horaire de travail, les niveaux subjectifs de vigilance, de fatigue, d'humeur et de somnolence, ainsi que la performance psychomotrice, la charge de travail, les habitudes de vie, les accidents et incidents liés à la fatigue, les enregistrements actigraphiques et des échantillons urinaires. Les mesures recueillies ont été les suivantes :

Questionnaires généraux : une fois au cours de l'étude, chaque participant a rempli une série de questionnaires visant à caractériser de manière générale leur sommeil et niveau de vigilance, soit :

- l'échelle de somnolence d'Epworth (*Epworth Sleepiness Scale*) (Johns, 1991);
- deux échelles d'insomnie; *Insomnia Severity Index* (ISI) (Bastien, Vallières et Morin, 2001) et *Athen Insomnia Scale* (Soldatos, Dikeos et Paparrigopoulos, 2000);
- le questionnaire du chronotype de Munich pour travailleuses et travailleurs par quart (*Munich Chronotype Questionnaire* (Roenneberg, Wirz-Justice et Mellow, 2003));
- le questionnaire de matinalité-vespéralité d'Horne et Östberg (*Morningness-Eveningness Questionnaire* (Taillard, Philip, Chastang et Bioulac, 2004)).

Cycle éveil-sommeil : le cycle éveil-sommeil a été documenté à l'aide d'un agenda quotidien rempli sur l'appareil téléphonique portatif. Au lever de chaque épisode de sommeil (incluant les siestes), les policières et policiers ont dû rapporter les données sur l'heure de coucher et de lever et estimer la durée et la qualité de leur dernière période de sommeil.

Les heures associées aux questionnaires de coucher et de lever ont servi aussi à identifier le début (coucher) et la fin (lever) des épisodes de sommeil. De plus, pour documenter objectivement le sommeil des participants, ceux-ci ont porté un moniteur d'activité musculaire (actigraphe) au poignet non dominant (c.-à-d., au poignet gauche pour les droitiers et au droit pour les gauchers). L'appareil enregistre le niveau d'activité musculaire et d'exposition à la lumière toutes les 15 secondes. Il a été porté en tout temps pendant l'étude, sauf pendant les douches, les bains et les sports de contact pour éviter de l'endommager. Les participants du service de police B ont aussi reçu la consigne d'appuyer sur un bouton-marqueur d'évènement en début et fin de chaque épisode de sommeil afin d'en faciliter le repérage.

Horaire de travail : avant le début de la collecte de données, les participants ont fait parvenir leur horaire de travail à l'équipe de recherche. En cours d'étude, les participants ont rapporté quotidiennement leur horaire de travail à l'aide du questionnaire de fin quart de travail. À la fin de la collecte de données, tous les participants ont été invités à informer l'équipe de recherche des heures réellement travaillées, incluant les changements d'équipes, les heures supplémentaires et le temps passé au tribunal (courtes séances exceptionnelles de travail supplémentaires et non déterminées à l'avance).

Vigilance, fatigue, humeur et somnolence subjectives (annexe A) : tout au long de l'étude, les niveaux subjectifs de vigilance, fatigue, humeur et somnolence ont été entrés sur l'appareil téléphonique portatif au moins 5 fois par jour, soit au lever et coucher ainsi qu'en début, milieu et fin de quart de travail. Les niveaux subjectifs de ces mesures ont été évalués par 3 types

d'échelles : visuelles analogues de 0 à 100, pour des niveaux subjectifs de vigilance et d'humeur allant de très faibles à très élevés; de fatigue au travail de Samn-Perelli (Samn et Perelli, 1982); de somnolence de Karolinska (Akerstedt et Gillberg, 1990; Sallinen, Mikael *et al.*, 2017).

Performance psychomotrice : l'impact de la fatigue sur les performances psychomotrices a été documenté par une TVP (Dinges et Powell, 1985) en début et fin de chaque quart de travail ou lors des journées de congé (environ 2 heures après le lever et avant le coucher). La TVP standard dure 10 minutes (Dinges et Powell, 1985), mais la version de 5 minutes validée par Lamond *et al.* (2008) a été utilisée étant donné sa plus grande facilité d'administration en condition réelle de travail. La TVP mesure le temps de réaction à un stimulus visuel présenté à intervalles irréguliers variant de 2 à 10 secondes. Au cours de ce test, le participant doit toucher l'écran de l'appareil téléphonique portatif avec le pouce aussi rapidement que possible dès l'apparition du stimulus visuel. Le stimulus visuel consiste en l'apparition d'une minuterie indiquant les millisecondes écoulées depuis le début du stimulus. Cette minuterie s'arrête lorsque le sujet touche l'écran, ce qui l'informe de son temps de réaction.

Les mesures suivantes ont été calculées pour chaque TVP : temps de réaction moyen et médian (en millisecondes), vitesse de réaction moyenne (en secondes⁻¹), nombre de réactions manquées (temps de réaction > 500 millisecondes), vitesse moyenne pour les 10 % des réactions les plus rapides et les plus lentes. À la fin de chaque TVP, les participants ont indiqué s'ils ont été dérangés au cours du test de 5 minutes. Le cas échéant, les données relatives à ce TVP ont été exclues des analyses ultérieures.

Charge de travail : à chaque fin de quart de travail, les participants ont documenté leur charge de travail dans l'appareil téléphonique portatif à l'aide du questionnaire validé de *Hart and Staveland's NASA Task Load Index* (Noyes et Bruneau, 2007).

Habitudes de vie : les participants ont reçu la consigne de rapporter, au coucher de leurs épisodes principaux de sommeil, le nombre de cigarettes, boissons énergisantes et consommations d'alcool consommées au cours de la journée. S'ils pratiquent un sport, ils ont reçu la consigne de rapporter l'heure de début et de fin de leurs sessions d'exercice ainsi que l'intensité par une échelle visuelle analogue de 0 à 100.

Accidents et incidents liés à la fatigue : les participants ont reçu la consigne de rapporter, à la fin de chaque quart de travail, la survenue d'un manquement au code de la sécurité routière au travail liée à la fatigue. De plus, les participants ont pu rapporter, sur l'appareil téléphonique portatif, les événements liés à la fatigue dans un questionnaire supplémentaire prévu à cet effet.

Phase circadienne : à 4 (service de police A) ou 5 (service de police B) reprises au cours de leur cycle de travail, les participants ont recueilli des échantillons d'urine. Durant ces collectes, les participants ont mesuré la quantité d'urine produite chaque fois qu'ils ont uriné. Chaque période de collecte urinaire a duré environ 32 heures, soit à partir du coucher de l'épisode principal de sommeil précédent jusqu'au lever de l'épisode principal de sommeil suivant. Les participants ont fait ces collectes avant une série de quarts de jour, soir et nuit. Comme les perturbations circadiennes sont estimées être plus marquées en lien avec les quarts de nuit, des collectes additionnelles ont été faites entourant les séries de quarts de nuit, soit avant et plusieurs jours suivant cette série de quarts de nuit. Certaines déviations de l'horaire de collecte sont toutefois

survenues pour différentes raisons (par exemple, lors d'un changement d'horaire non planifié, d'une journée de maladie, etc.).

La concentration de 6-sulfatoxy-mélatonine a été mesurée en *duplicata* dans les échantillons urinaires en utilisant un test immuno-enzymatique ELISA (ALPCO 6-Sulfatoxymélatonin ELISA, Salem, NH, É.-U.). La sensibilité du dosage est de 1,0 ng/ml. Les coefficients de variation intra- et interdosages ont été déterminés expérimentalement et sont de 7,0 % et 8,0 %, respectivement. De plus, la concentration en cortisol de chaque échantillon d'urine a été mesurée à l'aide d'un test de dosage radioimmunologique (ImmuChem Cortisol ¹²⁵I kit, MP Biomedicals, Orangeburg, NY, É.-U.). La sensibilité du dosage est de 0,17 mg/dL. Le coefficient de variation interdosages a été déterminé expérimentalement et est de 14,1 %, tandis que le coefficient de variation intradosage théorique est de 6,8 %.

4.5 Analyse des résultats

L'objectif général des analyses présentées dans ce rapport est de déterminer les facteurs contribuant significativement à la fatigue au travail dans le but de développer un outil de prédiction des risques liés à la fatigue. Les mesures de fatigue (variables dépendantes) et les facteurs contribuant à la fatigue (variables indépendantes, tableau 1) initialement retenus sont les suivants :

Mesure de fatigue (variable dépendante)

- Vigilance (Échelle visuelle analogue 0-100);
- Humeur (Échelle visuelle analogue 0-100);
- Fatigue (Échelle de Samn-Perelli);
- Somnolence (Échelle de Karolinska);
- Temps de réaction moyen et médian (TVP);
- Vitesse de réaction moyenne et médiane (TVP);
- Le nombre de laps d'attention (TVP).

Tableau 1. Facteurs contribuant à la fatigue (variables indépendantes)

<i>Facteurs personnels</i>	<i>Facteurs opérationnels</i>
- Âge	- Service de police
- Sexe	- Heure de la journée
- Années d'expérience de travail	- Heures travaillées depuis le début du quart
- Indice de masse corporelle	- Type de quart
- Nombre d'enfants	- Charge de travail (NASA-TLX)
- Chronotype	- Heures travaillées dans les 24, 48, 72, 168 dernières heures
- Score de sévérité d'insomnie	- Heures travaillées de nuit dans les 24, 48, 72, 168 dernières heures
- Score de somnolence d'Epworth	- Nombre de quarts de jour, soir, nuit des 7 derniers jours
- Nombre d'heures éveillées	
- Nombre d'heures de sommeil dans les 24, 48, 72, 168 dernières heures	

Le processus de sélection des facteurs contribuant à la fatigue qui ont été retenus pour l'élaboration d'un outil de prédiction de la fatigue est détaillé à la section 4.7.3.

L'évaluation de la phase circadienne à partir des échantillons d'urine est décrite à la section 4.6 des méthodes et à la section 5.4.8 des résultats. Puisque la phase circadienne (c.-à-d., heure interne de l'horloge biologique) varie peu entre les différentes périodes de collecte urinaire, l'heure de la journée a été utilisée pour les analyses portant sur la variation diurne des paramètres de fatigue.

4.5.1 Nettoyage et validation des données

La première étape d'analyse des données nécessite un nettoyage et une validation des données, le détail est dans le texte qui suit. Une partie de ce processus a été de déterminer le cycle éveil-sommeil des participants au cours de leur cycle de travail. Une autre partie a été de clarifier leur horaire de travail et de valider les questionnaires quotidiens. La section suivante explique en détail ce processus de nettoyage et de validation des données.

Détermination du temps passé au lit : pour déterminer le cycle éveil-sommeil d'un participant, les périodes de temps passé au lit sont d'abord identifiées. Ces périodes sont définies comme la période allant du coucher au lever suivant (figure 3). Étant donné que plusieurs sources d'information complémentaires ont été amassées, ces sources d'informations ont été entrecroisées pour obtenir la meilleure estimation possible des heures de coucher et de lever. Pour ce faire, leur niveau hiérarchique de fiabilité a été établi de la façon suivante (par ordre de niveau décroissant) :

- 1) Les marqueurs actigraphiques;
- 2) Les heures d'entrée des questionnaires de coucher et de lever;
- 3) L'agenda de sommeil;
- 4) Le changement des niveaux d'activité musculaire;
- 5) Le changement des niveaux d'exposition à la lumière.

Les critères suivants ont été utilisés pour identifier les changements de niveaux d'activité musculaire et d'exposition à la lumière (points 4 et 5) :

- Critère d'heure de coucher : un niveau d'activité positif pendant ≥ 30 secondes, suivi d'un niveau d'activité nulle pendant $\geq 2,5$ minutes, ou un niveau lumineux > 1 lux pendant ≥ 30 secondes suivi d'un niveau lumineux ≤ 1 lux pendant $\geq 2,5$ minutes;
- Critère d'heure de lever : un niveau d'activité nulle pendant ≥ 30 secondes, suivi d'un niveau d'activité positif pendant $\geq 2,5$ minutes, ou un niveau de lumière ≤ 1 lux pendant ≥ 30 secondes suivi d'un niveau de lumière > 1 lux pendant $\geq 2,5$ minutes.

Le temps passé au lit a été déterminé sur la base de l'approche hiérarchique décrite par Patel *et al.* (2015), adaptée pour ce projet. Les heures de coucher et de lever ont été définies par la source d'information se situant au plus haut niveau hiérarchique et présentant une concordance avec au moins une autre source d'information. Une concordance entre au moins 2 sources d'information est définie comme une différence ≤ 15 minutes entre ces sources d'information. Par exemple, si l'heure de coucher définie par le marqueur actigraphique (niveau 1) survenait ≤ 15 minutes du

temps basé sur un critère de niveau hiérarchique inférieur, l'heure du marqueur actigraphique était utilisée comme étant l'heure de coucher. Si aucune concordance n'était observée entre le marqueur actigraphique (niveau 1) et un autre paramètre, un processus similaire était répété, mais pour l'heure d'entrée des questionnaires (niveau 2). Cette même logique a été suivie pour définir chaque coucher et lever en suivant le même ordre hiérarchique de fiabilité. Toutefois, en aucun cas une simple concordance entre un changement d'activité (niveau 4) et de lumière (niveau 5) n'a été considérée suffisante pour établir l'heure du coucher ou du lever. En l'absence de concordance, la même approche a été répétée, mais cette fois-ci avec un intervalle de concordance ≤ 30 minutes. Si, encore une fois, aucune concordance n'a été identifiée, la période de temps passé au lit a été déterminée automatiquement à l'aide du logiciel Actiwatch (Actiware 6.0.9, Philips/Respironics). Néanmoins, une telle période de temps au lit a été conservée seulement pour les périodes de sommeil de ≥ 90 minutes (figure 3). Cette limite a été définie pour minimiser le risque de surestimation des périodes de sommeil en raison des limites de spécificité de l'actigraphe (Marino *et al.*, 2013). Finalement, toutes les périodes de sommeil additionnelles de ≥ 90 minutes non rapportées par le participant, mais identifiées par le logiciel Actiware ont été ajoutées.

Dans ce rapport, le terme *épisode de sommeil* est utilisé pour référer à une période de temps passée au lit, tandis que le terme *période de sommeil* est utilisé pour définir la période entre l'endormissement et l'éveil final (figure 3). Le terme *période de repos* est utilisé pour définir toute période qui n'est pas du travail.

Détermination de la période de sommeil : l'information sur le temps passé au lit sert à déterminer le moment de l'endormissement et du réveil final. L'endormissement est déterminé sur la base des 10 premières minutes consécutives d'immobilité suivant le coucher. Le réveil final est déterminé sur la base des 10 dernières minutes d'immobilité avant le lever.

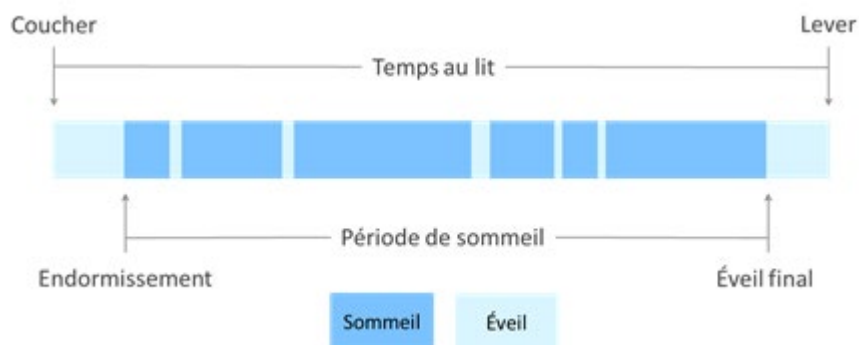


Figure 3. Temps au lit et période de sommeil.

Classification des époques de la période de sommeil : l'algorithme décrit par Oakley (1997) et Kosmadopoulos, Sargent, Darwent, Zhou et Roach (2014) a été utilisé afin de classer chacune des époques (15 secondes d'enregistrement actigraphique) de la période de sommeil comme soit une époque de sommeil, soit comme une époque d'éveil. La formule suivante a été utilisée pour cet algorithme qui consiste à appliquer une moyenne pondérée sur le niveau d'activité des 8 époques (2 minutes) précédant et suivant l'époque considérée :

$$\begin{aligned}
 A_n = & 0.04 E_{n-8} + 0.04 E_{n-7} + 0.04 E_{n-6} + 0.04 E_{n-5} + 0.2 E_{n-4} + 0.2 E_{n-3} \\
 & + 0.2 E_{n-2} + 0.2 E_{n-1} + 4.0 E_n + 0.2 E_{n+1} + 0.2 E_{n+2} + 0.2 E_{n+3} \\
 & + 0.2 E_{n+4} + 0.04 E_{n+5} + 0.04 E_{n+6} + 0.04 E_{n+7} + 0.04 E_{n+8}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Où A_n représente le niveau d'activité pondéré de l'époque considérée; E_n représente le niveau d'activité enregistré au cours de l'époque considérée; E_{n-i} représente le niveau d'activité enregistré au cours de l' $i^{\text{ème}}$ époque précédente; et E_{n+i} représente le niveau d'activités enregistrées au cours de l' $i^{\text{ème}}$ époque suivante. Chacune des époques a été classée comme une époque de sommeil si $A_n \leq 40$ ou comme une époque d'éveil si $A_n > 40$, tel que validé par les études précédentes (Kosmadopoulos *et al.*, 2014; Oakley, 1997; Patel *et al.*, 2015).

Détermination des paramètres de sommeil : différents paramètres de sommeil standardisés ont été calculés pour chacun des épisodes de sommeil : la latence à l'endormissement, le temps total de sommeil et l'efficacité du sommeil. La *latence à l'endormissement* correspond à la période entre le coucher et l'endormissement. Le *temps total de sommeil* est défini comme la somme de chaque époque (15 secondes) de sommeil au cours de la période de sommeil. L'*efficacité du sommeil* est le ratio du temps total de sommeil divisé par le temps au lit, exprimé en pourcentage.

Classification des épisodes de sommeil : chaque épisode de sommeil a été classifié comme un épisode *principal* de sommeil ou comme un épisode *secondaire* de sommeil (c.-à-d. une sieste). Pour les épisodes de sommeil survenant au cours d'une journée de calendrier (c.-à-d. entre 00:00 et 23:59), l'*épisode principal* de sommeil est défini comme étant le plus long épisode tandis que les autres épisodes sont classés comme étant des *épisodes secondaires* de sommeil. Pour les épisodes de sommeil chevauchant deux journées de calendrier, ces épisodes sont attribués à la journée de calendrier avec le plus d'heures de sommeil. Par exemple, un épisode de sommeil débutant à 22:00 le jour 1 et se terminant à 06:00 le jour 2 est attribué à la 2^e journée de calendrier, car pendant 6 heures sur 8, le participant a dormi au cours de la 2^e journée.

Pour les analyses, à moins d'une mention contraire, une *journée* est définie comme l'intervalle entre l'heure de coucher d'un épisode principal de sommeil et l'heure de coucher de l'épisode principal de sommeil suivant. Une *période d'éveil* est définie comme étant l'intervalle entre l'éveil final d'un épisode principal de sommeil et l'endormissement de l'épisode principal de sommeil suivant. Ainsi la *journée* est définie d'un épisode principal de sommeil au suivant.

Validation de l'horaire de travail : l'heure de début et de fin de chaque quart de travail a été déterminée en tenant compte de toutes les sources d'information liées à l'horaire de travail (horaire de travail planifié, heures de travail rapportées dans l'appareil téléphonique portatif au cours de l'étude, feuilles de temps fournies après l'étude). Malgré les quarts de travail de jour, soir et nuit prévus à l'horaire, des différences ont été observées entre les heures planifiées, les heures rapportées en cours d'étude et/ou les heures de collecte des différentes variables. Divers facteurs tels que des heures supplémentaires, des congés, des échanges de quart de travail peuvent contribuer à ces différences.

Les critères suivants ont été élaborés pour classer de manière systématique les quarts de travail réellement travaillés :

- Quart de jour : durée de 4,5 à 13,5 heures, débutant entre 05:00 et 09:00;

- Quart de soir : durée de 4,5 à 13,5 heures, se terminant entre 21:00 et 02:00;
- Quart de nuit : durée de 4,5 à 13,5 heures, débutant avant 01:00 et se terminant après 05:00;
- Autre quart : tous les quarts ne répondant pas aux critères précédents.

Pour certaines analyses préliminaires, nous avons tenu compte du type de quarts dans le but de les comparer entre eux. Ainsi, les « autres quarts » ont pu être exclus. Toutefois, pour le processus de modélisation, toutes les données ont été considérées.

Validation des questionnaires : la validation des questionnaires sur l'appareil téléphonique portatif a été faite de façon itérative par visualisation des données. Les questionnaires incomplets et ceux pour lesquels le type de quart de travail n'a pas pu être déterminé ont été retirés de la base de données. Dans certains cas, l'heure d'entrée des questionnaires a dû être corrigée, par exemple, lors du changement d'heure au printemps et à l'automne. Dans ces cas particuliers, les périodes de travail, les épisodes de sommeil ainsi que les questionnaires survenants de 00:00 le jour du changement d'heure jusqu'à 00:00 le jour suivant ont été retirés de la base de données.

La différence entre l'heure d'entrée d'un questionnaire et l'événement y étant relié a été calculée pour les questionnaires de lever, coucher et de début, milieu et fin de quart. Pour être inclus dans la base de données, un questionnaire a dû être rempli dans un intervalle de ≤ 1 heure avant ou après l'événement en question. Par exemple, la différence entre l'heure d'entrée des questionnaires de lever et le lever réel devait être au maximum d'une heure pour que ce questionnaire soit inclus dans la base de données. Cette démarche de validation a servi à limiter les biais de remémoration des participants sur les heures de début et de fin des épisodes de sommeil et des quarts de travail. Pour les analyses servant au développement de l'outil de prédiction des risques liés à la fatigue au travail, les questionnaires remplis dans la période débutant au plus tôt 1 heure avant le début du quart et se terminant au plus tard 1 heure après la fin du quart ont été considérés. En effet, il est improbable que ces données soient influencées par un biais de mémoire et ces données ont été analysées en fonction de leur heure réelle d'entrée. Le nombre de questionnaires exclus par ce processus de validation des données est présenté à la section 5.3.

4.5.2 Calcul des facteurs contribuant à la fatigue

La valeur de chacun des facteurs personnels et opérationnels contribuant à la fatigue (variables indépendantes) a été calculée pour chaque donnée de fatigue entrée (variables dépendantes). Le tableau 2 fournit des informations les facteurs contribuant à la fatigue.

Tableau 2. Facteurs considérés dans le calcul des risques liés à la fatigue

<i>Facteurs personnels</i>	<i>Détails du calcul</i>
Âge	
Sexe	
Années d'expérience de travail	Facteurs généraux obtenus en début d'étude par questionnaire démographique
Indice de masse corporelle	

Nombre d'enfants	
Chronotype	Facteurs généraux obtenus en début d'étude par questionnaires standardisés
Score de sévérité d'insomnie Score de somnolence d'Epworth	
Nombre d'heures éveillées	Intervalle entre l'heure de réveil de l'épisode principal de sommeil précédent (corrigé pour le temps cumulé de sommeil lors des siestes) et l'heure d'entrée du questionnaire
Nombre d'heures de sommeil dans les 24, 48, 72, 168 dernières heures	Durée cumulée de sommeil au cours des x dernières heures précédant l'heure d'entrée du questionnaire
<i>Facteurs opérationnels</i>	<i>Détails du calcul</i>
Service de police	Facteur général obtenu une fois en début d'étude par questionnaire démographique
Heure de la journée	Heure d'entrée du questionnaire, transformée pour tenir compte de la cyclicité de l'heure de la journée
Heures travaillées depuis le début du quart	Intervalle entre l'heure de début du quart de travail et l'heure d'entrée du questionnaire.
Type de quart	Type de quart (jour, soir, nuit, autre) travaillé la journée d'entrée du questionnaire. Si aucun quart n'a été effectué, les données ont été attribuées à une journée de congé.
Charge de travail	Somme des scores aux questions du NASA-TLX, remplis en fin de quart de travail.
Nombre d'heures travaillées dans les 24, 48, 72, 168 dernières heures	Somme des heures travaillées au cours des x dernières heures précédant l'heure d'entrée du questionnaire.
Nombre d'heures travaillées la nuit dans les 24, 48, 72, 168 dernières heures	Somme des heures travaillées de nuit (de 00:00-08:00) au cours des x dernières heures précédant l'heure d'entrée du questionnaire.
Nombre de quarts de jour, soir, nuit ou de congé des 7 derniers jours	Nombre de quarts de jour, soir, ou nuit des 7 derniers jours précédant l'heure d'entrée du questionnaire.

4.6 Analyses statistiques

Les analyses statistiques permettant de mieux comprendre le comportement et la fatigue des policières et policiers travaillant sur horaires rotatifs sont présentées.

Propension au sommeil par type de journée : dans un premier temps, le comportement de sommeil des policières et policiers lors des différents types de journées a été caractérisé. Pour ce faire, les épisodes de sommeil (principaux et siestes) ont été associés à un type de journée (quart de jour, soir, nuit ou journée de congé). Plus précisément, l'épisode principal de sommeil précédant un quart de travail, ainsi que chacune des siestes au cours d'une période d'éveil ont été associées à ce quart. Dans les cas où aucun quart n'était présent, les épisodes de sommeil

et les siestes étaient associés aux journées de congé. Par la suite, chaque intervalle de 15 secondes au cours de la journée de 24 heures a été analysé de manière binaire (sommeil ou éveil) sur la base de l'enregistrement actigraphique. La probabilité d'être endormi chaque minute de la journée a été déterminée par participant selon le type de journée et moyennée par type de journée. Les journées de transition ont été exclues de ces analyses, par exemple, la première et la dernière journée d'une série de quarts de jour, soir, ou nuit. Cette décision a été prise afin de quantifier précisément l'effet de chaque type de quart de travail sur la propension à dormir au cours de la journée. Ces analyses permettent aussi de calculer le temps total de sommeil moyen par type de journée, soit en calculant l'aire sous la courbe pour chaque participant et pour chaque type de quart. La propension au sommeil et le temps total de sommeil moyennés par type de journée peuvent être déterminés et comparés statistiquement à l'aide d'un modèle linéaire mixte.

Durée d'éveil et siestes par quart de travail : un facteur important à considérer pour évaluer les risques liés à la fatigue est le temps cumulé d'éveil. Le temps cumulé d'éveil en début et fin de chaque quart de travail a été calculé. Ce temps représente l'intervalle depuis le réveil de l'épisode principal de sommeil précédant le quart, ajusté pour le temps cumulé de sommeil lors des siestes. Ce temps a été moyenné par participant pour les différents types de quarts de travail. Le temps moyen cumulé dormi lors des siestes a aussi été moyenné par participant pour les différents types de quarts de travail. Le temps d'éveil et de sieste lors des différents types de quarts a été comparé statistiquement à l'aide de modèles linéaires mixtes. Pour ces analyses portant sur le type de journée (quarts de jour, soir, nuit ou congés), les données de sommeil lors des journées de transition, soit la 1^{re} et dernière journée d'une série, ont été exclues. Ce choix est justifié afin de bien caractériser le comportement de sommeil lors d'un type spécifique de journée. En effet, le comportement de sommeil lors des journées de transition est variable, particulièrement pour celles entourant les quarts de nuit, et inclut souvent des périodes de sommeil additionnelles en prévision ou récupération de quarts de travail.

Charge de travail : chacune des sous-échelles de la charge de travail du NASA-TLX complétées au cours de l'étude a été moyennée par type de journée pour chacun des participants. Ces résultats ont ensuite été comparés entre les types de journées et entre les services de police.

Performance et fatigue en début et fin de quart de travail : les variables dépendantes de fatigue et de performance ont été déterminées en début et fin de quart, selon le type de quart de travail, sur la base des questionnaires valides de début et fin de quart de travail (≤ 1 heure avant ou après le quart, respectivement).

Performance et fatigue selon la durée d'éveil et l'heure de la journée : Pour illustrer l'influence de ces 2 facteurs clés liés à la fatigue, les données de fatigue et de performance ont été regroupées par intervalles de temps d'éveil (0-2 heures, 2-4 heures d'éveil...) et d'heures de la journée (00:00-02:00, 02:00-04:00...). La durée de ces intervalles a été déterminée pour que des données de ≥ 40 participants contribuent à chaque intervalle.

La phase circadienne : les niveaux urinaires de cortisol ont été quantifiés pour toutes les périodes de collecte urinaire. Les niveaux urinaires de 6-sulfatoxy-mélatonine ont été quantifiés pour les collectes planifiées avant et après une série de quarts de nuit et de journées de congé suivant ces derniers. Le point milieu de la courbe d'excrétion urinaire de cortisol et de 6-sulfatoxy-mélatonine a été utilisé comme marqueur de la phase circadienne (voir l'annexe B pour les détails). Les valeurs ont été moyennées par participant puis pour le groupe à l'aide d'une

moyenne et écart-type circulaire et ont été comparées entre les différentes périodes de collecte. Un participant est considéré comme adapté après une série de quarts de nuit lorsque sa phase circadienne de 6-sulfatoxy-mélatonine urinaire a été observée au cours de sa période de sommeil de jour moyennée lors de ses journées de travail de nuit.

Incidents au travail liés à la fatigue : En fin de quart, les policières et policiers ont rapporté s'ils ont involontairement contrevenu au code de la sécurité routière au cours de leur période de travail et s'ils ont « cogné des clous ». La proportion de survenue de ces incidents a été comparée entre les types de quarts et en fonction de la durée du quart (\leq ou $>$ 12 heures) à l'aide d'un modèle logistique à mixte. De plus, la survenue d'incidents au travail liés à la fatigue a été comptabilisée.

Pauses et périodes de repas au travail : La présence d'une pause repas ainsi que la possibilité de prendre un repas complet au cours du quart ont été comparées entre les types de quarts et en fonction de la durée du quart (\leq ou $>$ 12 heures), à l'aide d'un modèle logistique à mixte.

4.7 Intégration des résultats dans un outil d'estimation de la fatigue

4.7.1 Détermination d'un « Index composé de fatigue »

Dans cette étude, la fatigue a été évaluée par des mesures subjectives et objectives décrites dans la section 4.4.4. Dans le but de considérer l'ensemble des données collectées, une approche par analyse en composantes principales a été utilisée pour produire 2 *index composés de fatigue* soit, un *index composé subjectif* et un *index composé objectif de fatigue*. Spécifiquement, l'*index composé subjectif de fatigue* est défini comme la 1^{re} composante de l'analyse en composantes principales des mesures subjectives de fatigue, ces dernières ayant préalablement été transformées en cote Z basée sur les données par participant. Similairement, l'*index composé objectif de fatigue* est la 1^{re} composante de l'analyse en composantes principales des mesures objectives de performances psychomotrices.

Puisque les variables subjectives de fatigue ont été collectées environ 5 fois par jour comparativement à environ 2 fois par jour pour les variables objectives de performance (début et fin de quart), la puissance statistique des variables subjectives est plus élevée. Ainsi, notre estimation des niveaux de risque liés à la fatigue est basée sur l'*index composé subjectif de fatigue*. L'*index composé objectif de fatigue* a servi à valider notre approche de prédiction des risques liés à la fatigue basée sur l'*index composé subjectif de fatigue*. La section 5.5.1 présente les résultats ayant servi à déterminer des niveaux de risque basés sur l'*index composé subjectif de fatigue*. Cette démarche intègre aussi les données probantes disponibles sur le risque d'accident en lien avec des données subjectives (Ingre, Akerstedt, Peters, Anund et Kecklund, 2006) et objectives de fatigue (Lamond *et al.*, 2004).

4.7.2 Détermination des niveaux de risque liés à la fatigue

Par analogie aux feux de circulation, le niveau de risque a été classifié comme étant faible, modéré ou élevé et est illustré dans ce rapport à l'aide des couleurs verte, jaune ou rouge, respectivement. Le niveau élevé de risque est subdivisé en partie basse et haute et est illustré dans les figures et tableaux en rouge plus clair et foncé, respectivement.

Une étape importante dans la création d'un outil d'estimation des risques liés à la fatigue est la sélection des limites pour les divers niveaux de risque. Pour ce faire, les valeurs de l'*index composé subjectif de fatigue* servant à déterminer les niveaux de risque ont tenu compte des données probantes disponibles sur les risques d'accidents liés à la fatigue. Ce processus s'inspire des résultats de deux études sur le risque d'accident en lien avec des niveaux de fatigue. L'une des études est celle menée sur un simulateur de conduite (Ingre *et al.*, 2006) qui montre qu'une valeur de 6, 7, 8 et 9 sur l'échelle de somnolence de Karolinska s'associe à une augmentation du risque d'accident par un facteur de 2,14, de 6,37, de 28,2 et de 185, respectivement. L'autre étude compare les baisses de performance produites par la durée prolongée d'éveil à celles produites par la consommation d'alcool (Lamond *et al.*, 2004). Ainsi, des changements de temps de réaction analogues à ceux observés à un niveau d'alcoolémie de 0,05 g/100 ml et 0,08 g/100 ml ont été considérés. Un processus itératif d'harmonisation des niveaux de risque à travers les diverses variables de fatigue a été entrepris. Ce processus vise à assurer une cohérence pour les niveaux de risque entre les variables de fatigue soient : l'*index composé subjectif de fatigue*, l'*index composé objectif de fatigue*, le score de somnolence de Karolinska, le score de fatigue au travail de Samn-Perelli et les changements de temps de réaction à la TVP. Les changements de temps de réaction ont été calculés par rapport au temps moyen de réaction observé en début des quarts de jour et de soir pour chaque participant.

4.7.3 Sélection des facteurs contribuant à la fatigue

La liste des facteurs contribuant à la fatigue (variables indépendantes) considérés dans la création de l'outil de prédiction des risques liés à la fatigue est décrite au tableau 3. Au départ, plus de 13 facteurs personnels et 17 facteurs opérationnels ont été considérés (tableau 2). Les facteurs retenus dans le modèle final ont été sélectionnés sur la base de leur valeur scientifique et de critères d'applicabilité en milieu de travail (voir la section 6.3). Plusieurs facteurs personnels ont été exclus pour des raisons d'acceptabilité concernant la collecte ou l'utilisation de données confidentielles portant sur la vie privée des participants (par exemple, âge, sexe, indice de masse corporelle, nombre d'enfants). D'autres facteurs ont été exclus à cause d'un risque élevé de biais de remémoration lorsque de telles informations devaient être collectées lors de l'utilisation d'un outil de prédiction de la fatigue (par exemple, sommeil obtenu lors des 72 dernières heures). La charge de travail a été exclue du processus de modélisation pour trois raisons principales : 1) il est difficile de prévoir qu'elle en sera son niveau pour un quart de travail à venir, rendant ce facteur moins intéressant du point de vue d'un modèle prédictif; 2) la charge de travail a été mesurée en fin de quart seulement (16 % des données environ) de sorte que son niveau peut difficilement être appliqué aux autres questionnaires de la journée; 3) l'inclusion des différents aspects de la charge de travail dans le modèle s'est avérée avoir peu d'impact sur la précision de ce dernier. Les facteurs d'intérêt conservés sont : le temps d'éveil précédant le quart de travail et le temps de sommeil des 24 dernières heures, car ces facteurs sont faciles à se remémorer. Pour ce qui est des variables opérationnelles, les facteurs conservés sont faciles à obtenir en milieu de travail. De plus, nous avons retiré le « type de quart » des facteurs opérationnels, car son effet est pris en compte par la variable « heure de la journée ».

Tableau 3. Facteurs contribuant à la fatigue inclus dans le modèle.

<i>Facteurs personnels</i>
Nombre d'heures éveillées
Nombre d'heures de sommeil des 24 dernières heures
<i>Facteurs opérationnels</i>
Service de police
Heure de la journée
Nombre d'heures travaillées depuis le début du quart
Nombre d'heures travaillées des 24, 48, 72, 168 dernières heures
Nombre d'heures travaillées la nuit des 24, 48, 72, 168 dernières heures
Nombre de quarts de jour, soir, nuit ou de congé des 7 derniers jours

Certains facteurs ont été créés en transformant d'autres variables. C'est le cas pour le nombre d'heures dormies dans les 24 dernières heures, le nombre d'heures éveillées depuis le réveil, et le nombre d'heures travaillées depuis le début du quart. Des variables additionnelles ont été créées en obtenant le carré ou la racine carrée de ces variables (tableau 21). L'ajout de ces facteurs transformés améliore significativement la modélisation de la fatigue, tel que démontré par une réduction significative de la somme des carrés des résidus lors d'un test de chi carré (-13,2 %, $\chi^2(5) = 1278,2$, $p < 0,0001$).

4.7.4 Modélisation

Les facteurs contribuant à la fatigue décrits au tableau 3 ont ensuite été utilisés pour modéliser *l'index composé subjectif de fatigue*. Pour ce faire, un modèle de régressions linéaires multiples avec effet aléatoire a été utilisé pour chaque participant. Une approche par régression pas à pas, avec entrée progressive ascendante (*stepwise regression, forward selection*) a été utilisée pour ne retenir dans le modèle final que les facteurs contribuant significativement à la fatigue. Un seuil de significativité de $p \leq 0,05$ a été utilisé.

4.7.5 Outil de prédiction des risques liés à la fatigue

Les résultats de la modélisation ont servi de base pour créer un outil de prédiction des risques liés à la fatigue sur la base des facteurs clés listés au tableau 3.

5. RÉSULTATS

L'APSAM et le conseiller en transfert de connaissance de l'IRSST a soutenu l'équipe dans les démarches de recherche de partenaires. À la suite de discussions avec plusieurs services de police, une collaboration de recherche a été établie avec deux services de police identifiés comme le service de police A et le service de police B.

5.1 Groupes de discussion

Une rencontre de discussion d'environ 4 heures a été organisée dans chaque service de police participant. Un petit groupe de policières et policiers patrouilleurs travaillant sur horaires rotatifs a participé à ces rencontres au sein de leur organisation. La participation à ces rencontres a été volontaire et a pris la forme de sessions remue-méninges sur les causes et les conséquences de la fatigue au travail. Aux services de police A et B, 7 et 6 policières et policiers, respectivement, ont participé à une rencontre. Ces rencontres ont été enregistrées et un verbatim a été produit. Toutefois, pour des raisons de confidentialité, seul un résumé des échanges est rapporté et l'enregistrement a été effacé une fois le verbatim produit. Puisqu'il s'agit de petits groupes, les commentaires de cette rencontre sont généralement combinés pour les 2 services de police participant, et ce, dans le souci de protéger la confidentialité des participants.

Pour lancer les discussions, l'équipe de recherche a d'abord demandé aux policières et policiers les raisons de leur participation à ces rencontres. La majorité des participants a dit éprouver des problèmes de sommeil et de fatigue en lien avec leur horaire de travail. D'autres ont dit souhaiter des changements de leurs horaires de travail pour les rendre plus acceptables pour leur santé, ou pour en réduire l'impact négatif sur leur vie sociale et familiale. Plusieurs ont dit vouloir améliorer leur situation personnelle et celle de leurs collègues en contribuant à la recherche ou en partageant leur expérience en matière de stratégies de gestion de fatigue.

L'équipe de recherche a ensuite demandé aux policières et policiers de décrire les manifestations de leur fatigue au travail. Les participants ont rapporté, soit sous forme d'observations générales ou d'anecdotes, que la fatigue au travail prend diverses formes telles que :

- diminution de l'attention et des capacités de concentration;
- perte de mémoire;
- irritabilité, manque de patience;
- perte d'appétit;
- hallucinations;
- érection en fin de nuit;
- somnolence au travail ou à la maison;
- endormissements involontaires au volant;
- diminution du balayage visuel lors de la conduite (fixation);
- manquement au niveau des règles de la sécurité routière;
- niveau élevé de divorce.

Le moment de la journée où la fatigue a été la plus grande est décrit par beaucoup de participants comme étant la fin de la nuit (05:00-06:00), au moment où le soleil se lève. Pour d'autres, ce sont les débuts de quart de jour qui sont les plus difficiles. Un autre participant a rapporté que les heures supplémentaires sont les plus difficiles, car elles perturbent l'horaire habituel de repos. Les participants ont aussi rapporté être plus fatigués à la suite d'un repas lors des quarts de jour ou de nuit. Les policières et policiers ont mentionné que de longues périodes sans appels augmentent leur fatigue. Les policières et policiers ont aussi rapporté être plus fatigués lors de leurs journées de congé, ce qu'ils attribuent probablement à l'adrénaline que leur apportent leurs quarts de travail.

Aucun consensus ne semble émerger quant au moment de la journée au cours duquel la fatigue est à son plus bas. Pour certains, la fatigue est moindre au début d'une série de quarts de nuit. Pour d'autres, elle est plus faible lors des quarts de soir, en début de quart en général ou à la fin d'une série de quarts consécutifs. Certains ont rapporté que leur fatigue est moindre lorsqu'ils travaillent toujours sur le même horaire, même s'il s'agit de quarts de nuit.

La question suivante a porté sur les facteurs opérationnels et personnels influençant la fatigue au travail. Les participants ont identifié les éléments suivants :

- La charge de travail relative au volume d'appels;
- La rotation entre les différents types de quarts;
- Les heures supplémentaires lors des journées de travail ou de congé;
- Le manque d'effectifs;
- Les assignations (duo ou solo);
- La possibilité de prendre une pause repas;
- La reconnaissance (ou le dénigrement) de leur travail par la population;
- Le stress au travail;
- La vie familiale et sociale;
- Les boissons énergisantes;
- L'exercice physique;
- Les conditions météorologiques.

La documentation des horaires de travail, des activités physiques et de la charge de travail faisait déjà partie des variables documentées. À la suite de ces groupes de discussion, des questions additionnelles ont été ajoutées. Entre autres, des questions sur le secteur de travail, l'affectation (*solo* ou *duo*), les heures passées au tribunal, la possibilité de prendre une pause repas lors du quart et sur le respect des règles de la sécurité routière ont été ajoutées.

De plus, les participants ont pu ajouter un commentaire à chaque jour dans leur appareil téléphonique portatif sur des situations ou facteurs qui ont pu affecter leurs niveaux de fatigue au travail.

5.2 Données démographiques

Le tableau 4 présente les caractéristiques démographiques des participants (moyenne \pm écart type). Un peu moins du tiers des participants sont des femmes. L'âge des participants est comparable entre les services de police ($F(1) = 2,29$, $p = 0,13$), mais le niveau de séniorité des policières et policiers du service de police B est significativement plus élevé ($F(1) = 9,63$, $p = 0,0028$). L'indice de masse corporelle moyen dans l'échantillon est normal et comparable entre les services de police ($F(1) = 0,35$, $p = 0,56$). Tous les participants se sont rapporté en bonne santé lors de la période de collecte de données.

Tableau 4. Caractéristiques démographiques des participants

	Service de police A	Service de police B
<i>Population</i>	8 femmes (30,8 %), 18 hommes (69,2 %)	12 femmes (24,0 %), 38 hommes (76,0 %)
<i>Âge</i>	30,8 \pm 4,4 ans (23,6 - 40,9 ans)	32,7 \pm 5,7 ans (24,4 - 49,1 ans)
<i>Expérience</i>	5,9 \pm 3,4 ans (1,3 - 13,0 ans)	9,2 \pm 4,9 ans (2,3 – 21,0 ans)
<i>IMC</i>	24,6 \pm 2,6 (20,1 – 29,1)	24,9 \pm 2,5 (19,1 – 30,2)

Les tableaux 5 à 8 présentent les résultats aux questionnaires standardisés de chronotype, d'insomnie et de somnolence remplis en début d'étude. Deux participants n'ont pas rempli ces questionnaires et n'ont pas retourné les appels de l'équipe de recherche pour corriger cette situation.

Sur l'ensemble des 76 policières et policiers étudiés, 1 participant (1,3 %) présente un chronotype du matin indiscutable, 15 (19,7 %) présentent un type du matin modéré, 47 (61,8 %) présentent un type ni du matin ni du soir, 10 (13,2 %) présentent un type du soir modéré et 1 (1,3 %) présente un type du soir indiscutable (tableau 5). Deux participants ont omis de remplir le questionnaire de chronotype.

Tableau 5. Chronotype des participants

	<i>Service de police A</i> (<i>n</i> = 26)	<i>Service de police B</i> (<i>n</i> = 50)
<i>Type du matin indiscutable</i>	0 (0 %)	1 (2,0 %)
<i>Type du matin modéré</i>	4 (15,4 %)	11 (22,0 %)
<i>Ni du matin ni du soir</i>	19 (73,1 %)	28 (56,0 %)
<i>Type du soir modéré</i>	3 (11,5 %)	7 (14,0 %)
<i>Type du soir indiscutable</i>	0 (0 %)	1 (2,0 %)
<i>Non disponible</i>	0 (0 %)	2 (4 %)

Au niveau de l'index de sévérité de l'insomnie (tableau 6), 34 des 76 participants (44,7 %) ne rapportent aucun signe clinique d'insomnie, 30 (39,5 %) rapportent des signes d'insomnie sous-clinique et 10 (13,2 %) rapportent des signes cliniques d'insomnie modérée. Deux participants ont omis de remplir ce questionnaire.

Tableau 6. Index de sévérité de l'insomnie des participants

	<i>Service de police A (n = 26)</i>	<i>Service de police B (n = 50)</i>
<i>Aucun signe clinique d'insomnie (0-7)</i>	16 (61,5 %)	18 (36,0 %)
<i>Signes d'insomnie sous-clinique (8-14)</i>	8 (30,8 %)	22 (44,0 %)
<i>Signes cliniques d'insomnie modérée (15-21)</i>	2 (7,7 %)	8 (16,0 %)
<i>Signes cliniques d'insomnie sévère (22-28)</i>	0 (0 %)	0 (0 %)
<i>Non disponible</i>	0 (0 %)	2 (4,0 %)
<i>Signe clinique d'insomnie (≥ 11, selon Morin, Belleville, Belanger et Ivers (2011))</i>	8 (30,8 %)	17 (34,0 %)

Au niveau de l'index d'insomnie d'Athènes (tableau 7), 43 des 76 participants (56,6 %) ne rapportent pas d'insomnie et 31 (40,8 %) rapportent des signes d'insomnie. Deux participants ont omis de remplir ce questionnaire.

Tableau 7. Index d'insomnie d'Athènes des participants

	<i>Service de police A (n = 26)</i>	<i>Service de police B (n = 50)</i>
<i>Aucun signe d'insomnie (0-5)</i>	19 (73,1 %)	24 (48,0 %)
<i>Signe d'insomnie (6-24)</i>	7 (26,9 %)	24 (48,0 %)
<i>Non disponible</i>	0 (0 %)	2 (4,0 %)

Au niveau du score de somnolence d'Epworth (tableau 8), le score moyen (\pm É.T.) est de $7,4 \pm 2,6$ pour le service de police A et de $7,4 \pm 3,4$ pour le service de police B. La majorité, soit 62 des 76 participants (81,6 %) ne rapporte aucune somnolence anormale, 8 (10,5 %) rapporte de la somnolence légère, 3 (3,9 %) rapportent de la somnolence modérée et 1 (1,3 %) participant rapporte une somnolence sévère. Les valeurs des paramètres de fatigue de ce dernier participant amassés au cours de l'étude sont comparables à celles du groupe. Deux participants ont omis de remplir ce questionnaire.

Tableau 8. Échelle de somnolence d'Epworth des participants par service de police

	Service de police A (n = 26)	Service de police A (n = 50)
Somnolence diurne normale basse (0-5)	8 (30,8 %)	13 (26,0 %)
Somnolence diurne normale haute (6-10)	15 (57,7 %)	26 (52,0 %)
Somnolence diurne excessive légère (11-12)	3 (11,5 %)	5 (10,0 %)
Somnolence diurne excessive modérée (13-15)	0 (0 %)	3 (6,0 %)
Somnolence diurne excessive sévère (16-24)	0 (0 %)	1 (2,0 %)
Non disponible	0 (0 %)	2 (4,0 %)

5.3 Description de la base de données

Tel que décrit dans la section 4, un effort important a été déployé pour valider la base de données servant à créer l'outil de prédiction des risques liés à la fatigue. Cette section décrit le résultat de cette démarche.

5.3.1 Période de collecte de données

La collecte de données a débuté en octobre 2015 et s'est terminée en décembre 2017. Plus précisément, la collecte a eu lieu d'octobre 2015 à avril 2017 pour le service de police A et de janvier 2017 à décembre 2017 pour le service de police B.

La figure 4 illustre la période de collecte de données pour chaque participant en fonction des mois de l'année. À l'exception de quelques jours au mois de mai, les périodes de collecte de données se répartissent uniformément au cours de l'année et en fonction des saisons.

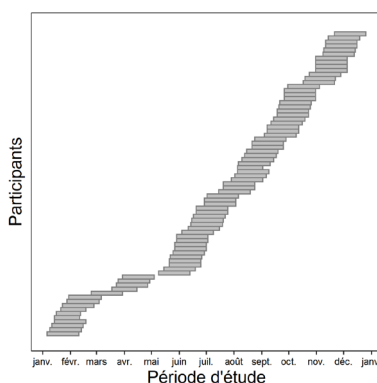


Figure 4. Périodes de collecte de données de chaque participant. Cette figure illustre la période de collecte de chaque participant en fonction des mois de collecte, peu importe l'année. Ainsi, une période de collecte en octobre 2015 ou en octobre 2016 apparaît au même endroit.

5.3.2 *Épisode de sommeil*

Au total, 3 032 épisodes de sommeil sont identifiés pour l'ensemble des participants au cours de l'étude. Ceux-ci comprennent 2 592 (85,5 %) épisodes principaux de sommeil et 440 (14,5 %) siestes. En moyenne (\pm É.T.), $39,9 \pm 5,1$ épisodes de sommeil sont donc identifiés par participant, incluant $34,1 \pm 2,4$ épisodes principaux de sommeil et $5,8 \pm 4,5$ siestes.

Le temps moyen passé au lit (\pm É.T.) est de $7,88 \pm 1,83$ heures pour les épisodes principaux de sommeil et de $2,08 \pm 1,04$ heures pour les siestes.

5.3.3 *Journées de travail et de congé*

Au total, 1 457 quarts de travail sont identifiés pour tous les participants au cours de l'étude. Ceux-ci comprennent :

- 462 (31,6 %) quarts de jour;
- 326 (22,3 %) quarts de soir;
- 458 (31,3 %) quarts de nuit;
- 211 (14,4 %) autres quarts.

La durée moyenne (\pm É.T.) est de $9,60 \pm 1,37$ heures pour les quarts de jour, $9,00 \pm 0,86$ heures pour les quarts de soir, $9,84 \pm 1,51$ heures pour les quarts de nuit et de $13,00 \pm 4,26$ heures pour les autres quarts. L'horaire moyen de ces quarts est présenté au tableau 9.

Tableau 9. Horaire des quarts de travail

	Début	Fin
Jour	07:00 \pm 00:05	16:36 \pm 00:21
Soir	15:00 \pm 00:10	00:00 \pm 00:08
Nuit	21:54 \pm 00:26	07:37 \pm 00:11
Autre	13:30 \pm 01:28	03:15 \pm 01:12

Moyenne \pm É.T.

Pour les analyses, l'équipe de recherche a identifié et retenu 2 543 périodes d'éveil incluant :

- 445 (17,5 %) périodes d'éveil incluant un quart de jour;
- 313 (12,3 %) périodes d'éveil incluant un quart de soir;
- 447 (17,6 %) périodes d'éveil incluant un quart de nuit;
- 208 (8,2 %) périodes d'éveil incluant un quart « autre »;
- 1 130 (44,4 %) périodes d'éveil de congé.

Ainsi, certains quarts de travail et périodes d'éveil n'ont pu être utilisés dans l'analyse servant à la création de l'outil de prédiction des risques liés à la fatigue. Les principales raisons d'exclusion de ces périodes d'éveil sont dues à une information incomplète pour correctement définir les heures de lever et de coucher et un chevauchement avec un changement d'heures au printemps

et à l'automne. Les quarts exclus représentent $\leq 4\%$ selon le type de quarts (3,6 % des quarts de jours, 4,0 % des quarts de soir, 2,4 % des quarts de nuit et 1,4 % des autres quarts).

5.3.4 Horaire de travail/sommeil

Sur la base des périodes de travail et de repos identifiées aux sections 5.3.2 et 5.3.3, l'horaire de travail-sommeil de chaque participant a été clarifié. Un exemple est présenté à la figure 5.

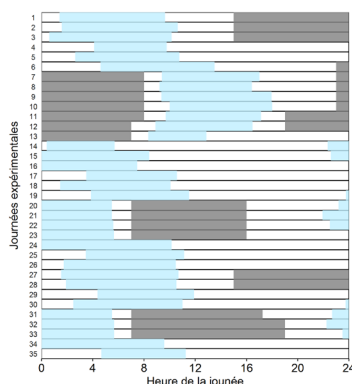


Figure 5. Exemple de l'horaire d'un participant. Les épisodes de sommeil sont représentés par des rectangles bleus tandis que les périodes de travail sont représentées par des rectangles gris. Les zones blanches représentent l'éveil sans travail.

À partir de cet horaire, plusieurs variables associées à la fatigue peuvent être facilement extraites, telles que le nombre d'heures d'éveil ou le nombre de quarts de travail dans les 7 derniers jours.

5.3.5 Base de données

Le nombre de questionnaires complétés par les participants, puis validés par l'équipe de recherche, est présenté au tableau 10. Au cours de leur période d'étude, les participants ont complété 13 570 questionnaires de lever, de coucher ainsi que de début, milieu et de fin de quart. Après validation de l'heure d'entrée des questionnaires, tel que décrit à la section 4.5.1, 12 396 questionnaires ont été inclus dans la base de données, soit 91,3 % des données initiales.

Pour l'analyse portant sur l'outil de prédiction des risques liés à la fatigue, certains questionnaires additionnels ont dû être exclus. Par exemple, un questionnaire, pour lequel il n'a pas été possible de déterminer l'horaire de sommeil ou de travail des 7 jours précédents, a été retiré. Finalement, 9 399 questionnaires contenant des mesures subjectives de la fatigue, et 2 279 questionnaires contenant des mesures objectives de la fatigue ont été conservés.

Tableau 10. Questionnaires disponibles et validés pour les analyses

	Total	Lever	Quart			Coucher
			Début	Milieu	Fin	
Questionnaires disponibles	13 570	2 923	2 134	3 573	2 165	2 775
Questionnaires validés	12 396	2 687	1 781	3 449	1 975	2 504
Questionnaires utilisés pour l'analyse de prédiction des risques liés à la fatigue	9 399	2 037	1 298	2 602	1 521	1 941

5.3.6 La phase circadienne

La concentration de cortisol est déterminée pour tous les échantillons de 351 périodes de collecte urinaire. Parmi celles-ci, 25 périodes de collecte ont été exclues puisqu'elles sont trop courtes (< 20 heures) pour en déterminer la phase circadienne. Sur les 326 courbes d'excrétion urinaire de cortisol, le point milieu de 239 (73,3 %) courbes d'excrétion urinaire de cortisol a été déterminé par 2 évaluateurs (voir annexe B). Les autres courbes n'ont été pas utilisées à cause d'un nombre insuffisant d'échantillons ($n = 3$), de valeurs aberrantes ($n = 24$), d'une configuration bimodale ($n = 61$) ou multimodale ($n = 19$). En fonction du moment de la période de collecte au cours de l'horaire de travail des participants, les points milieux de la courbe d'excrétion urinaire du cortisol ont été classés dans les catégories suivantes : avant une série de quarts de jour ($n = 56$), avant une série de quarts de soir ($n = 50$), avant une série de quarts de nuit ($n = 50$), après une série de quarts de nuit ($n = 52$), après une série de journées de congé suivant les quarts de nuit ($n = 46$). Sur les 52 séries de quarts de nuit analysés, 34 suivent 7 quarts de nuit consécutifs, 17 suivent de 4 à 6 quarts de nuits et 1 suit 3 quarts de nuits.

La concentration de 6-sulfatoxy-mélatonine a été déterminée pour tous les échantillons de 200 périodes de collecte urinaire. Parmi celles-ci, 18 périodes de collecte ont été exclues puisqu'elles sont trop courtes (< 20 heures). Le point milieu de 182 courbes d'excrétion urinaire de 6-sulfatoxy-mélatonine a été déterminé par 2 évaluateurs. Celles-ci ont été classées dans les catégories suivantes : avant une série de quarts de jour ($n = 16$), de quarts de soir ($n = 19$) et de quarts de nuit ($n = 67$). De plus, une autre série d'analyses s'est concentrée sur les quarts de nuit avec des évaluations, soit après une série de quarts de nuit ($n = 68$), de journées de congé suivant les quarts de nuit ($n = 16$). Parmi les 68 collectes suivant des quarts de nuit, 44 suivent 7 quarts de nuit consécutifs, 23 suivent de 4 à 6 quarts de nuits et 1 suit 3 quarts de nuits.

5.4 Résultats des analyses préliminaires

5.4.1 Horaire de sommeil et d'éveil

Au cours de séries de quarts consécutifs (tableau 11), le temps total de sommeil obtenu lors de la période principale de sommeil ($F(4, 198,7) = 22,92, p < 0.0001$) est significativement moindre pour les quarts de jour ($T(187) = 3,82, p < 0.0017$), de soir ($T(185) = 4,81, p < 0.0001$) et de nuit ($T(181) = 9,32, p < 0.0001$) que pour les journées de congé. Le temps total de sommeil de la période principale de sommeil est comparable entre les quarts de jour et de soir ($T(195) = 1,35, p = 0,66$), mais significativement moindre pour les quarts de nuit comparativement aux quarts de jour ($T(187) = 5,05, p < 0,0001$) et de soir ($T(198) = 3,12, p = 0,02$).

Le temps total de sommeil (période principale + siestes, tous les quarts, $F(4, 194,35) = 20,54, p < 0.0001$) est significativement moindre pour les quarts de jour ($T(185) = 5,93, p < 0.0001$), de soir ($T(191) = 5,68, p < 0.0001$) et de nuit ($T(180) = 8,60, p < 0.0001$) que pour les journées de congé. Aucune autre différence significative n'est observée. Lorsque ces analyses sont répétées avec seulement les journées comportant des siestes ($F(4, 72) = 5,56, p = 0.0006$), le temps total de sommeil est significativement moindre pour les quarts de soir ($T(59,8) = 2,98, p = 0,032$) et de nuit ($T(61,3) = 3,94, p = 0,0019$) que pour les journées de congé.

Tableau 11. Sommeil et temps d'éveil moyen

	Congés	Jours	Soirs	Nuits
<i>Période principale de sommeil</i>				
Heure de coucher	23:27 ± 0:17	22:10 ± 0:14	01:24 ± 0:16	09:16 ± 0:17
Heure de lever	08:10 ± 0:21	06:00 ± 0:08	09:03 ± 0:23	16:12 ± 0:20
Heure de l'endormissement	23:42 ± 0:17	22:28 ± 0:14	01:41 ± 0:16	09:27 ± 0:17
Heure de l'éveil final	07:42 ± 0:20	05:38 ± 0:07	08:39 ± 0:21	15:44 ± 0:20
Temps total de sommeil (h)	7,36 ± 1,07	6,73 ± 0,89	6,46 ± 1,28	5,85 ± 1,11
<i>Siestes (temps total de sommeil, toutes les journées)</i>				
Précédant le quart (h)	N/A	0,00 ± 0,00	0,18 ± 0,47	0,24 ± 0,48
Durant le quart (h)	N/A	0,00 ± 0,02	0,00 ± 0,00	0,27 ± 0,55
Suivant le quart (h)	N/A	0,01 ± 0,08	0,00 ± 0,00	0,01 ± 0,06
Total (h)	0,23 ± 0,39	0,01 ± 0,08	0,18 ± 0,47	0,53 ± 0,78
<i>Siestes (temps total de sommeil, pour les journées ayant au moins une sieste)</i>				
Précédant le quart (h)	N/A	N/A	1,33 ± 0,50 (n = 8)	1,27 ± 0,62 (n = 23)
Durant le quart (h)	N/A	0,42 (n = 1)	N/A	1,36 ± 0,69 (n = 23)
Suivant le quart (h)	N/A	1,23 (n = 1)	N/A	1,22 ± 0,63 (n = 4)
Total (h)	1,86 ± 0,88 (n = 29)	0,83 ± 0,57 (n = 2)	1,33 ± 0,50 (n = 8)	1,52 ± 0,79 (n = 34)
<i>Période principale + siestes (pour toutes les journées)</i>				
Temps total de sommeil (h)	7,60 ± 1,10	6,75 ± 0,89	6,64 ± 1,18	6,38 ± 0,88
<i>Période principale + siestes (pour les journées ayant au moins une sieste)</i>				
Temps total de sommeil (h)	8,33 ± 1,77 (n = 29)	6,33 ± 1,04 (n = 2)	6,43 ± 1,50 (n = 8)	6,78 ± 1,37 (n = 34)
<i>Temps d'éveil depuis la dernière période principale de sommeil</i>				
Début de quart (ajusté pour siestes, h)	N/A	1,41 ± 0,37	6,17 ± 1,26	7,09 ± 1,53
Fin de quart (ajusté pour siestes, h)	N/A	11,01 ± 0,84	15,19 ± 1,27	16,70 ± 1,47
<i>Temps d'éveil depuis la dernière période de sommeil (principale ou sieste)</i>				
Début de quart (h)	N/A	1,41 ± 0,37	5,69 ± 1,36	5,34 ± 1,86
Fin de quart (h)	N/A	10,98 ± 0,84	14,69 ± 1,38	12,95 ± 4,28

Ce tableau inclut les données de sommeil de chaque série de quarts consécutifs (ou journées de congé), auxquelles la 1^{re} et dernière journées (du coucher d'une période principale de sommeil à la suivante) sont exclues. Pour les temps d'éveil, tous les quarts sont inclus. Les valeurs sont rapportées en moyenne ± É.T.

Sur un total de :

- 131 quarts de jour analysés, 2 siestes ont été faites par 2 participants;
- 61 quarts de soir analysés, 9 siestes ont été faites par 8 participants;
- 251 quarts de nuit analysés, 76 siestes ont été faits par 34 participants;
- 385 journées de congé analysées, 49 siestes ont été faites par 29 participants.

Le tableau 12 présente la fréquence des temps totaux de sommeil de moins de 6 heures selon le type de quart. En moyenne, 51,7 %, 36,0 % et 25,0 % des quarts de nuit, de soir et de jour comptent un temps total de sommeil inférieur à 6 heures au cours de la période de sommeil principale précédant ce quart comparativement à 16,6 % des journées de congé. Ces proportions diminuent lorsque les siestes sont incluses.

La durée moyenne de sommeil (épisode principal + siestes), toutes journées confondues (à l'exclusion des journées de transition), est de $7,03 \pm 0,79$ h, soit supérieure à 6 heures. Dans le groupe de 76 policières et policiers étudiés, 7 d'entre eux (9,2 %) présentent une durée de sommeil inférieure à 6 heures par jour. Par contre, ces derniers sont comparables à l'ensemble du groupe étudié en termes de leur prévalence d'insomnie et de somnolence.

Tableau 12. Fréquence d'un temps total de sommeil < 6 heures

	Congés	Jours	Soirs	Nuits
Période principale de sommeil	16,6 ± 20,4 %	25,0 ± 36,1 %	36,0 ± 45,6 %	51,7 ± 35,3 %
Période principale de sommeil + siestes	13,7 ± 20,4 %	24,2 ± 36,1 %	30,2 ± 45,2 %	41,6 ± 35,6 %

Ce tableau inclut les données de sommeil de chaque série de quarts consécutifs (ou journées de congé), auxquelles la 1^{re} et dernière journées (du coucher d'une période principale de sommeil à la suivante) sont exclues. Les valeurs sont rapportées en moyenne ± É.T.

5.4.2 Propension au sommeil par quart de travail

La probabilité de dormir en fonction de l'heure de la journée et selon le type de quart de travail est présentée à la figure 6. L'horaire de sommeil moyen est très différent entre les quarts :

- Journées de congé : 50 % des participants sont endormis à 23:40 et éveillés à 07:30;
- Quarts de jour : 50 % des participants sont endormis à 22:30 et éveillés à 05:40;
- Quarts de soir : 50 % des participants sont endormis à 01:20 et éveillés à 08:30;
- Quarts de nuit : 50 % des participants sont endormis à 09:10 et éveillés à 15:40.

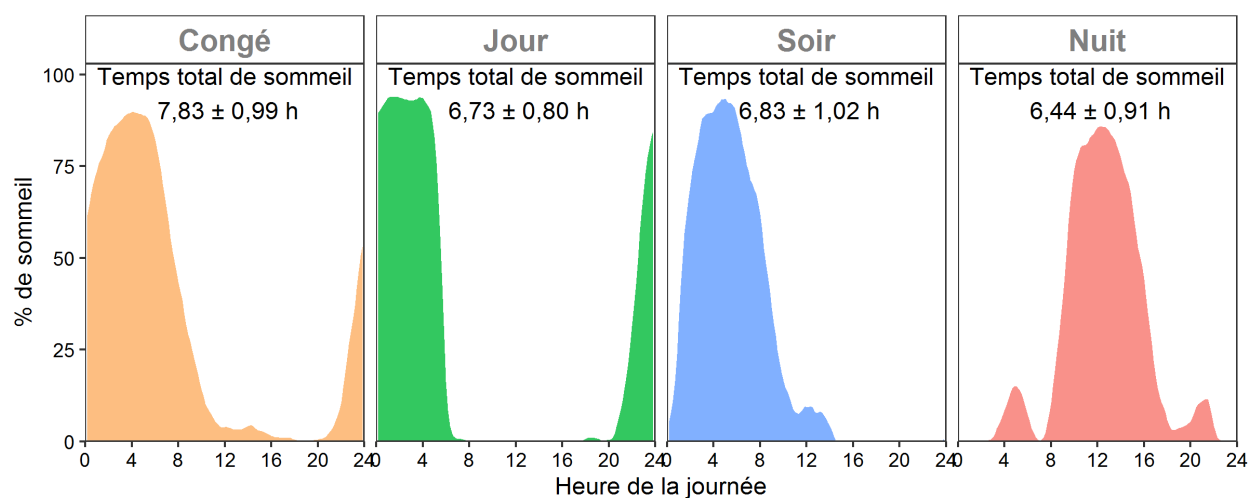


Figure 6. Propension au sommeil par quart de travail. Chaque courbe représente la probabilité moyenne (axe des Y) qu'un participant soit endormi en fonction de l'heure de la journée (axe des X) et du type de quart de travail. Cette figure inclut les données de sommeil dans l'intervalle entre le début du premier quart et la fin du dernier quart de chaque série. Pour les journées de congé, les données de sommeil débutent à l'éveil de la période principale de sommeil précédant la première journée de congé et se terminent au coucher de la dernière journée de congé de chaque série de journées de congé.

Le temps total de sommeil ($F(3, 177,19) = 39,48, p < 0,0001$) est plus élevé pour les journées de congé ($7,83 \pm 0,99$ h) que pour les journées de travail ($T(17) \geq 6,73, p < 0,0001$). Le temps total de sommeil est comparable entre les journées de travail de jour ($6,73 \pm 0,80$ h) et de soir ($6,83 \pm 1,02$ h, $T(181) = 0,73, p = 0,89$), mais tend à être réduit pendant les journées de travail de nuit ($6,44 \pm 0,91$ h) comparativement aux quarts de soir ($T(186) = 2,56, p = 0,054$). Lorsque toutes les journées sont considérées (de congé, travail et transition), le temps total de sommeil par 24 heures est de $6,89 \pm 0,66$ h. De plus, 10,5 % des participants (8 sur 76) dorment en moyenne < 6 heures par 24 heures.

5.4.3 Durée d'éveil et de sieste par quart de travail

La durée d'éveil au début et à la fin de chaque quart de travail, corrigée pour le temps dormi lors des siestes, est illustrée à la figure 7 et résumée au tableau 11. Les participants sont éveillés ($F(2, 1179,4) = 748,29, p < 0,0001$) significativement plus longtemps au moment de débiter leurs quarts de nuit comparativement aux quarts de soir ($T(1189) = 4,89, p < 0,0001$) et de jour ($T(1174) = 36,38, p < 0,0001$), et significativement plus longtemps au début des quarts de soir, qu'au début des quarts de jour ($T(1184) = 28,04, p < 0,0001$). Des différences significatives ($F(2, 1176,2) = 688,57, p < 0,0001$) semblables sont observées en fin de quart ($T(1187) \geq 7,89, p < 0,0001$). En moyenne, les participants auront cumulé plus de 17 heures d'éveil à la fin de leur quart de nuit dans $33,2 \pm 21,1$ % des occasions, et plus de 23 heures d'éveil dans $7,3 \pm 10,0$ % des occasions.

La durée cumulative des siestes prises avant le début ($F(2, 1178,2) = 67,38, p < 0,0001$) et la fin des quarts ($F(2, 1166) = 113,12, p < 0,0001$) est aussi significativement différente entre les quarts de travail. Les siestes sont significativement plus longues avant les quarts de nuit qu'avant les

quarts de soir ($T(1187) = 6,37, p < 0,0001$), et avant les quarts de soir qu'avant les quarts de jour ($T(1182) = 4,01, p = 0,0002$). De même, les siestes sont significativement plus longues à la fin des quarts de nuit qu'à la fin des quarts de soir ($T(1177) = 9,83, p < 0,0001$), et à la fin des quarts de soir qu'à la fin des quarts de jour ($T(1171) = 3,35, p = 0,0024$).

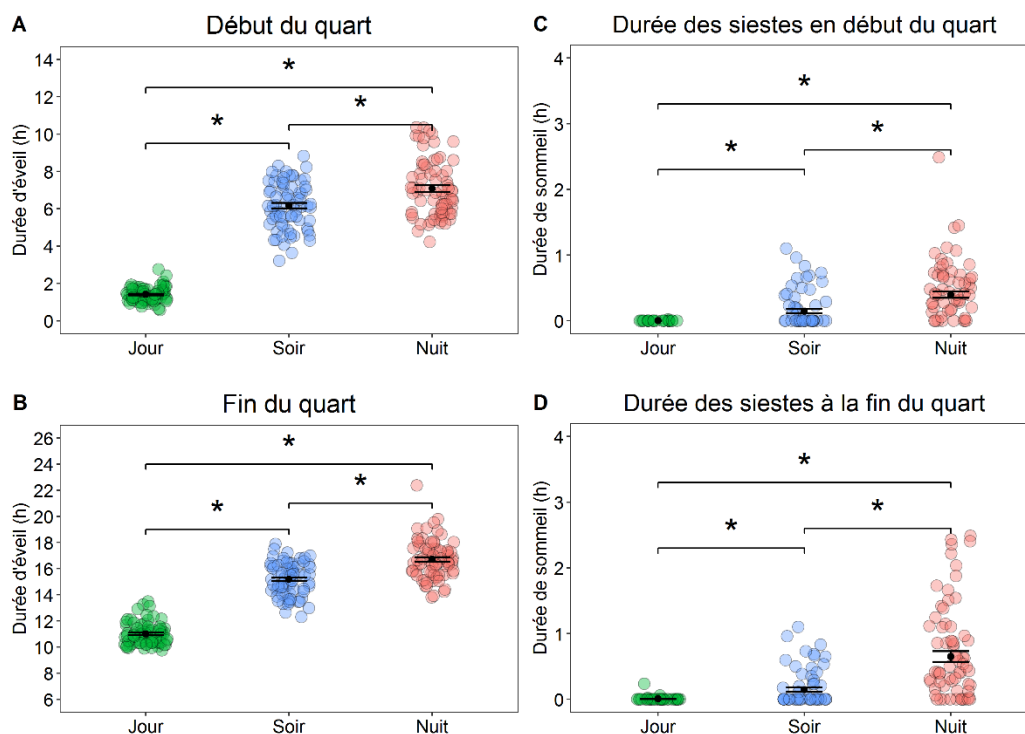


Figure 7. Durées d'éveil et des siestes en début et fin de quart de travail. Chaque point représente la durée moyenne d'éveil d'un participant par type de quart de travail. La durée d'éveil des panneaux A et B est ajustée pour les siestes. Les panneaux de droite représentent le temps de sommeil cumulé lors des siestes depuis la fin de l'épisode principal de sommeil et le début (C) ou la fin (D) du quart.

5.4.4 Charge de travail (NASA-TLX)

Selon le tableau 13, la charge de travail en termes d'exigence mentale ($F(2, 143,4) = 24,04, p < 0,0001$), temporelle ($F(2, 144,05) = 28,50, p < 0,0001$) et d'effort ($F(2, 143,4) = 15,14, p < 0,0001$) est significativement réduite lors des quarts de nuit comparativement aux quarts de jour ($T(144) \geq 4,94, p < 0,0001$) et de soir ($T(143) \geq 4,55, p < 0,0001$). Aucune différence significative n'est observée en termes d'exigence physique ($F(2, 143,63) = 3,05, p = 0,0505$), de performance ($F(2, 143,1) = 0,59, p = 0,56$) ou de frustration au travail ($F(2, 143,7) = 0,80, p = 0,45$).

Tableau 13. Charge de travail en fonction du type de quart

	Jour	Soir	Nuit	Différences sig.
Exigence mentale	49,8 ± 15,6	50,0 ± 16,2	39,3 ± 16,3	N < J,S
Exigence physique	28,9 ± 14,5	28,3 ± 16,6	25,2 ± 14,1	n.s.
Exigence temporelle	38,6 ± 13,4	41,2 ± 15,6	28,6 ± 12,3	N < J,S
Performance	75,4 ± 8,3	74,6 ± 10,3	75,9 ± 11,3	n.s.
Effort	47,2 ± 13	46,7 ± 15,1	39,1 ± 15,5	N < J,S
Frustration	31,8 ± 15,9	31,9 ± 16,8	30,0 ± 15,0	n.s.

J : jour; S : soir; N : nuit; n.s. : non significatif. À la colonne de droite, le symbole « < » indique que la charge de travail était significativement réduite lors des quarts de nuit (N) que lors des quarts de jour (J) et de soir (S).

Selon le tableau 14, aucune différence significative n'est rapportée entre les deux services de police pour la charge de travail en termes d'exigence mentale ($T(39,7) = 0,39$, $p = 0,70$), physique ($T(56,2) = 0,18$, $p = 0,86$), temporelle ($T(46,5) = 0,79$, $p = 0,44$), de performance ($T(45,7) = 0,44$, $p = 0,67$) et d'effort ($T(43,8) = 0,23$, $p = 0,81$). La frustration au travail ($T(51,8) = 2,08$, $p = 0,042$) est significativement plus grande pour le service de police B que pour le service de police A.

Tableau 14. Charge de travail par service de police

	Service de police A	Service de police B
Exigence mentale	44,6 ± 15,7	45,9 ± 11,7
Exigence physique	28,0 ± 11,7	27,5 ± 13,1
Exigence temporelle	37,5 ± 11,8	35,3 ± 10,7
Performance	76,3 ± 9,3	75,4 ± 8,2
Effort	44,7 ± 13,0	43,9 ± 11,0
Frustration	26,6 ± 12,6	33,0 ± 12,9

Des associations significatives ont été trouvées entre les échelles de charge de travail et les paramètres d'humeur (exigence physique [$r = -0,25$, $p = 0,027$], performance [$r = 0,27$, $p = 0,018$], effort [$r = -0,26$, $p = 0,025$], frustration [$r = -0,43$, $p = 0,0001$]). Ainsi, moins l'humeur était bonne, plus les individus évaluaient leur charge de travail et leur performance au travail comme basses. Plus leur frustration au travail était élevée, plus leur vigilance et leur humeur étaient basses, et plus leur fatigue et leur somnolence étaient élevées. Par contre, la force de ces associations était faible.

5.4.5 Performance et fatigue en début et fin de quart de travail

La figure 8 illustre les performances et les mesures subjectives de fatigue en début et en fin de quart. L'analyse par modèle linéaire mixte révèle une interaction significative entre le type de quart et le moment au cours du quart de travail, et ce pour la vitesse de réaction

($F(2, 1864,8) = 28,79, p < 0,0001$), la fatigue ($F(2, 1887,9) = 112,49, p < 0,0001$), la vigilance ($F(2, 1885,3) = 75,14, p < 0,0001$) et la somnolence ($F(2, 1886,3) = 131,25, p < 0,0001$). La comparaison des groupes *a posteriori* révèle les changements significatifs suivants :

- La vitesse de réaction, la vigilance, la fatigue et la somnolence se détériorent significativement entre le début et la fin des quarts de soir ($T(1865) \geq 7,09, p < 0,0001$) et de nuit ($T(1865) \geq 8,39, p < 0,0001$), mais restent stables pour les quarts de jour ($T(1865) \leq 1,23, p \geq 0,82$);
- Au début du quart, les performances et les mesures subjectives de fatigue sont significativement moindres pour les quarts de jours ($T(1867) \geq 5,45, p < 0,0001$) et de nuit ($T(1897) \geq 4,36, p < 0,0002$) que pour les quarts de soir. En fin de quart, les performances et les mesures subjectives de fatigue sont significativement moindres pour les quarts de nuit ($T(1867) \geq 4,84, p < 0,0001$) et supérieures pour les quarts de jour ($T(1867) \geq 3,13, p = 0,022$). Les différences significatives sont indiquées à la figure 8.

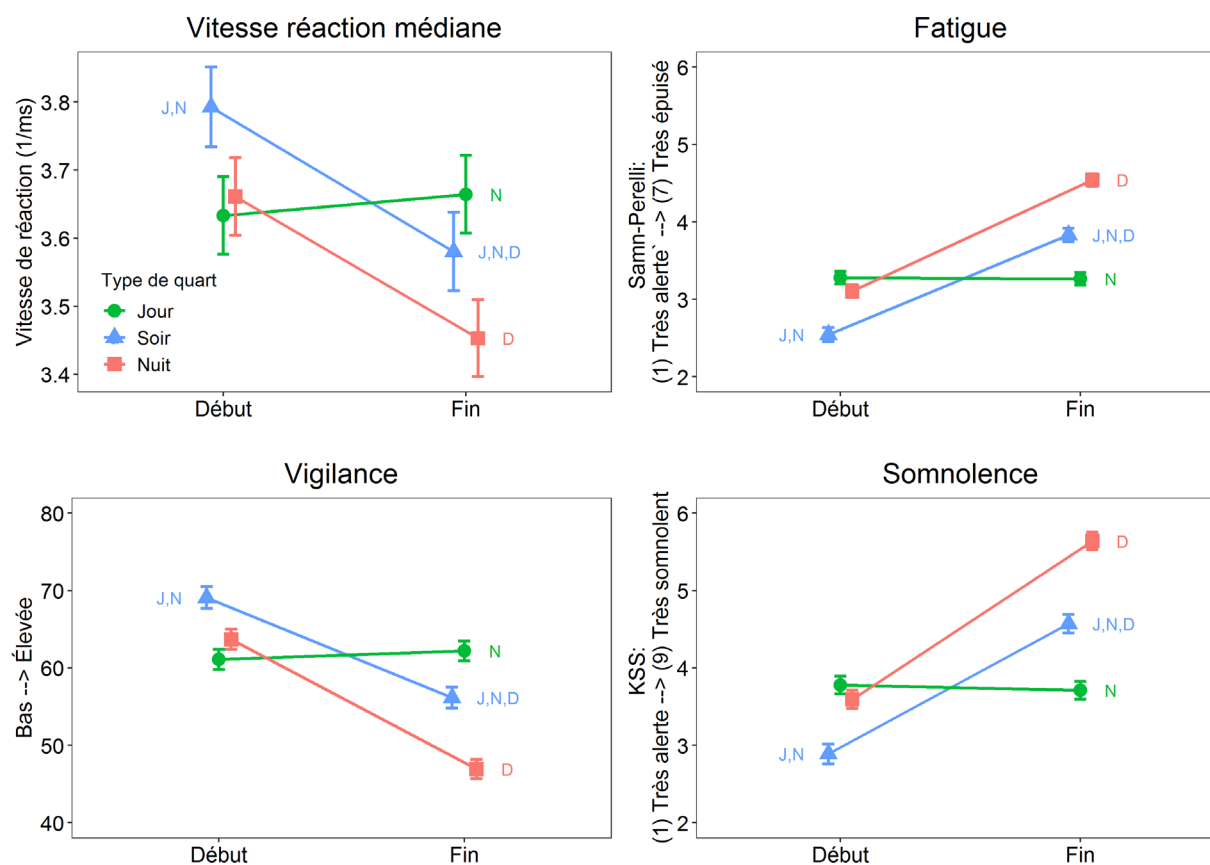


Figure 8. Performance et fatigue en début et fin de quart de travail. Chaque lettre indique une différence significative ($p < 0,05$) : « J » significativement différent du quart de jour; « N » significativement différent du quart de nuit; et « D » significativement différent du début du quart. Les données sont présentées sous forme de moyenne \pm erreur-type.

5.4.6 Performance et fatigue selon la durée d'éveil

Un modèle linéaire à effets mixtes a servi à évaluer l'effet de la durée de la période d'éveil sur les performances et les mesures subjectives de fatigue (figure 9). L'effet de la durée d'éveil est significatif pour l'ensemble des mesures, soit la vitesse de réaction ($F(8, 521,84) = 11,02, p < 0,0001$), la fatigue ($F(11, 739,75) = 151,02, p < 0,0001$), la vigilance ($F(11, 745,24) = 104,27, p < 0,0001$) et la somnolence ($F(11, 739,66) = 160,17, p < 0,0001$). Pour toutes les mesures, les meilleurs résultats sont observés après 4 - 6 heures d'éveil. Les pires performances, les niveaux de fatigue et de somnolence les plus élevés, ainsi que les niveaux de vigilance les plus faibles sont observés après la durée maximale d'éveil considérée dans ces analyses. Une plus grande variabilité est observée entre les participants pour la vitesse de réaction que pour les mesures subjectives de fatigue.

La variabilité individuelle est plus prononcée pour les tests de performance que pour les variables subjectives. Par exemple, si l'on modélise l'effet du temps d'éveil sur la somnolence, la variabilité interindividuelle explique 16,8 % de la variance totale et cette dernière est 1,4 fois plus grande que l'effet mesuré. Si l'on modélise l'effet du temps d'éveil sur la vitesse de réaction, la variabilité interindividuelle explique 71,2 % de la variance totale et cette dernière est 31,3 fois plus grande que l'effet mesuré.

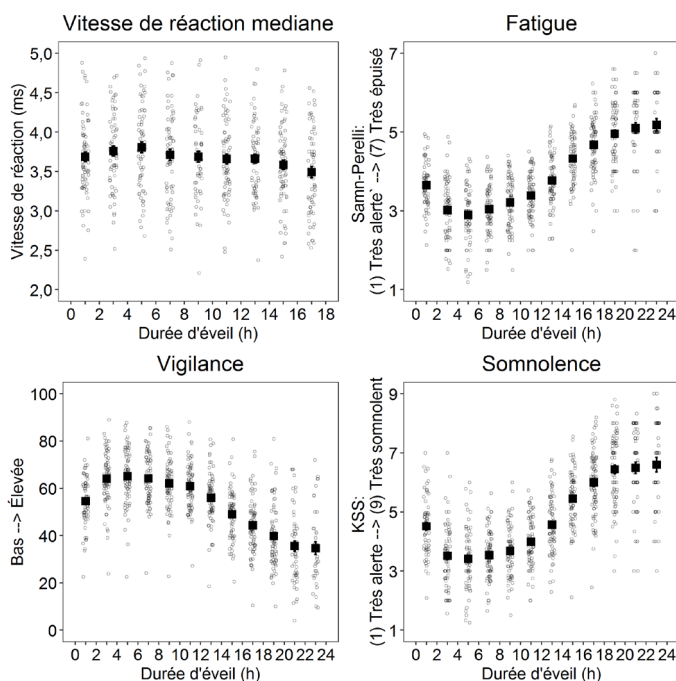


Figure 9. Performance et fatigue en fonction de la durée d'éveil. Les performances et les mesures subjectives de fatigue sont groupées par intervalles de 2 heures. Chaque petit cercle gris représente la moyenne d'un participant pour un intervalle de 2 heures et chaque carré noir représente la moyenne du groupe.

5.4.7 Performance et fatigue selon l'heure de la journée

Un rythme diurne significatif est observé pour les performances et les mesures subjectives de fatigue (comparaison des modèles avec versus sans rythme de 24 heures, $\chi^2(2) \geq 41,76$, $p < 0,0001$, figure 10). Les performances et la vigilance sont meilleures en après-midi, soit autour de 15:00, tandis qu'elles sont plus basses la nuit vers 03:00. La fatigue et la somnolence sont plus élevées la nuit autour de 03:00, tandis qu'elles sont plus basses en après-midi. Une période de 24 heures est imposée au modèle de sorte que le maximum est nécessairement 12 heures plus tard que le minimum. Encore une fois, on observe une plus grande variabilité entre les participants pour la vitesse de réaction que pour les mesures subjectives de fatigue.

Tel que rapporté en figure 9, la variabilité interindividuelle est beaucoup plus importante pour les variables objectives que pour les variables subjectives.

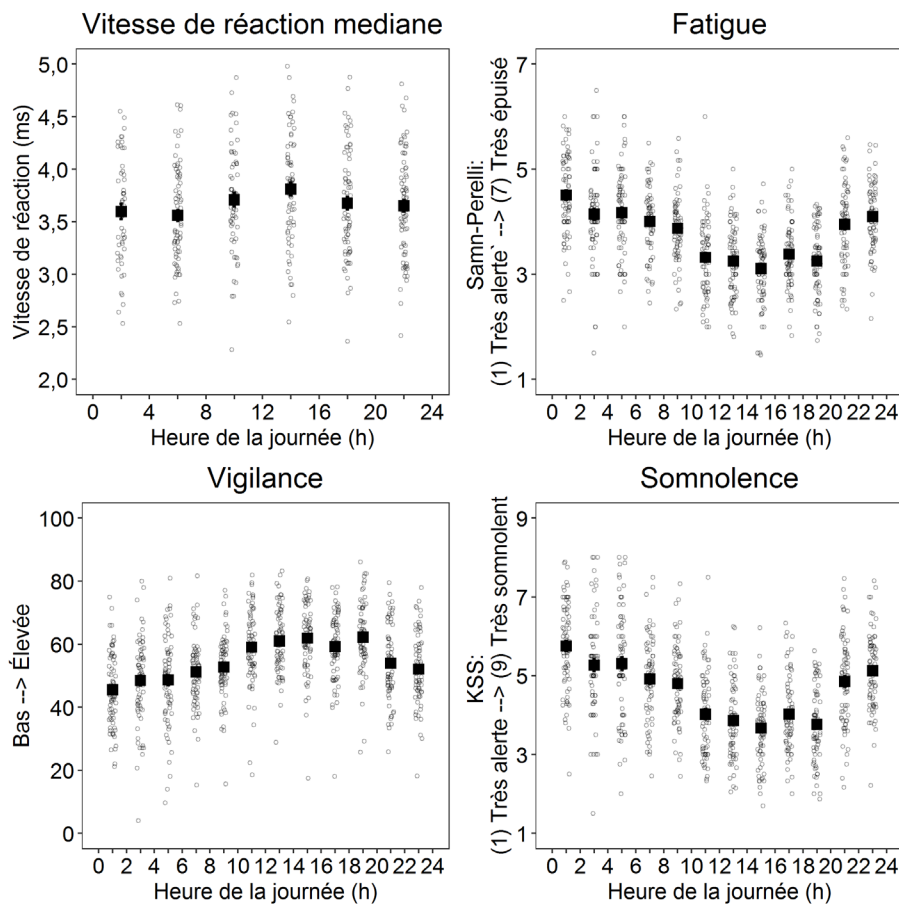


Figure 10. Performance et fatigue en fonction de l'heure de la journée. Les performances sont groupées par intervalles de 4 heures tandis que les mesures subjectives de fatigue sont groupées par intervalles de 2 heures. Chaque petit cercle gris représente la moyenne d'un participant par intervalle et chaque carré noir représente la moyenne du groupe.

5.4.8 La phase circadienne

La phase circadienne de chaque participant, déterminée sur la base des courbes d'excrétion urinaire de cortisol et de 6-sulfatoxy-mélatonine, est présentée aux figures 11 et 12 et les valeurs résumées au tableau 15. Les données présentées entre parenthèses sont les moyennes circulaires du groupe \pm É.T.

Avant les séries de quarts de jour, de soir et de nuit, les points milieux des courbes d'excrétion urinaire de cortisol sont observés en avant-midi (figure 11, panneaux du haut). Il n'existe pas de différence significative entre les points milieux avant les quarts de jour (10:18 \pm 0:59), de soir (09:38 \pm 0:58, différence : 0,57 h, intervalle de confiance 95 % : -0,85 h à 2,00 h) et de nuit (10:34 \pm 0:57, différence : -0,37 h, intervalle de confiance 95 % : -1,73 h à 0,80 h, tableau 15).

Le bas de la figure 11 illustre la phase circadienne de cortisol urinaire avant et après une série de quarts de nuit. Avant les quarts de nuit, les points milieux des courbes d'excrétion urinaire de cortisol sont observés en avant-midi (10:34 \pm 0:57). Après la série de quarts de nuit, la phase circadienne moyenne du groupe ne s'est pas significativement déplacée (11:44 \pm 1:13, différence : -1,03 h, intervalle de confiance 95 % : -2,79 h à 0,65 h). Des résultats similaires sont observés pour un sous-groupe de 39 participants qui ont des points milieux valides avant et après leurs quarts de nuit (différence : -0,56 h, intervalle de confiance 95 % : -2,23 h à 0,95 h).

Enfin, après la série de journées de congé suivant les quarts de nuit, les points milieux des courbes d'excrétion urinaire de cortisol ne se sont pas significativement déplacés (10:51 \pm 1:01) comparativement à avant (différence : -0,20 h, intervalle de confiance 95 % : -1,65 h à 1,31 h) et après (différence : -1,68 h, intervalle de confiance 95 % : -6,25 h à 2,62 h) la série de quarts de nuit.

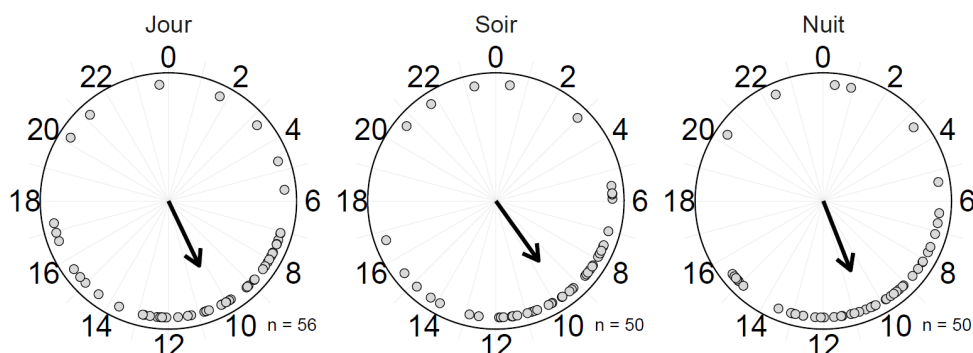
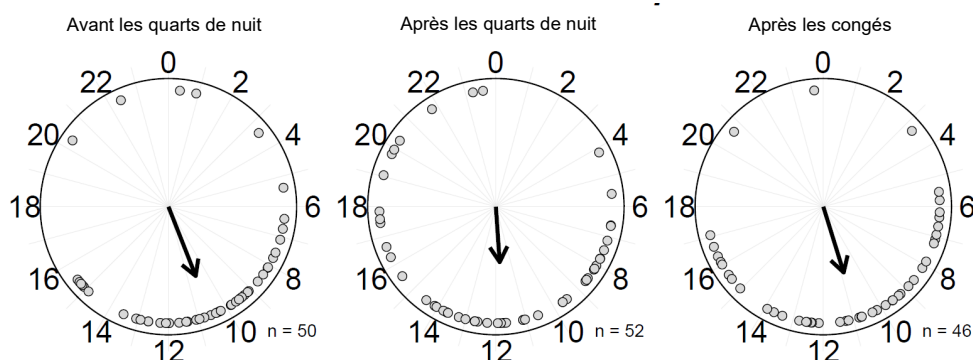
Cortisol — Phase circadienne avant les différents types de quart**Cortisol — Effet du travail de nuit sur la phase circadienne**

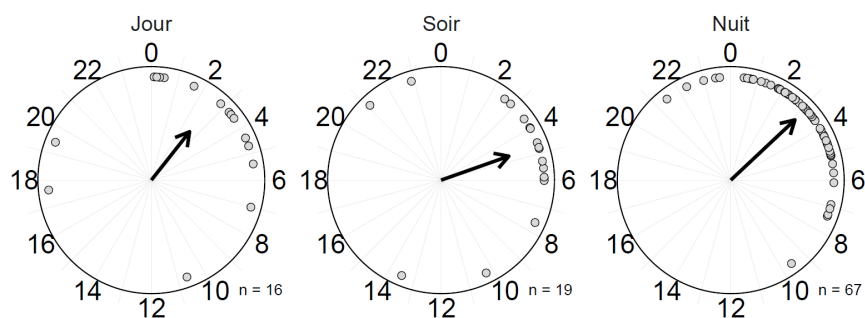
Figure 11. Phase circadienne basée sur l'excrétion urinaire de cortisol. La phase circadienne est déterminée sur la base du point milieu de la courbe d'excrétion urinaire de cortisol. Les panneaux du haut réfèrent aux périodes de collecte avant les quarts de jour, de soir et de nuit. Les panneaux du bas réfèrent aux périodes de collecte entourant les quarts de nuit, soit avant et après une série de quarts de nuit (7 quarts [n = 34, 65,4 %], 4 à 6 quarts [n = 17, 32,7 %], 3 quarts [n = 1, 2,0 %]) et de journées de congé (3-5 congés [n = 6, 13,0 %], 6 congés [n = 32, 69,6 %], 7-8 congés [n = 5, 10,9 %], 11-13 congés [n = 3, 6,5 %]) suivant ces derniers. Chaque panneau réfère à une période de collecte urinaire et chaque cercle représente l'heure de la journée. À l'intérieur de ces cercles, chaque point représente le point milieu d'un participant et la direction de la flèche représente la moyenne circulaire de tous les participants. La longueur de la flèche est inversement proportionnelle à la variabilité des données de sorte qu'une flèche plus courte indique que les données sont plus dispersées qu'une flèche plus longue. Le nombre de participants contribuant à chaque période de collecte est indiqué.

Les points milieux des courbes d'excrétion urinaire de 6-sulfatoxy-mélatonine sont observés au milieu de la nuit (figure 12, panneau du haut) et sont comparables entre les quarts de jour ($02:34 \pm 1:01$), de soir ($04:42 \pm 0:51$, différence : $-2,17$ h, intervalle de confiance 95 % : $-4,39$ à $0,20$ h) et de nuit ($03:07 \pm 0:34$, différence : $-0,52$ h, intervalle de confiance 95 % : $-2,48$ à $1,40$ h, tableau 15).

Le bas de la figure 12 présente la phase circadienne de 6-sulfatoxy-mélatonine urinaire avant et après une série de quarts de nuit. Avant les quarts de nuit, la phase circadienne est observée au milieu de la nuit (03:07 ± 0:34). La phase circadienne moyenne du groupe est significativement retardée après comparativement à avant la série de quarts de nuit (04:40 ± 1:16, différence : -1,40 h, intervalle de confiance 95 % : -2,92 h à -0,01 h). Des résultats similaires sont observés pour un sous-groupe de 62 participants qui ont des points milieux valides avant et après leurs quarts de nuit (différence : -1,33 h, intervalle de confiance 95 % : -2,74 h à 0,31 h).

Enfin, après la série de journées de congé suivant les quarts de nuit, la phase circadienne de 6-sulfatoxy-mélatonine urinaire (02:47 ± 1:03) est comparable à celle observée avant (différence : 1,94 h, intervalle de confiance 95 % : -0,16 h à 3,86 h) ou après (différence : 1,65 h, intervalle de confiance 95 % : -1,05 h à 3,97 h) les quarts de nuit (tableau 15).

Mélatonine — Phase circadienne avant les différents types de quart



Mélatonine — Effet du travail de nuit sur la phase circadienne



Figure 12. Phase circadienne basée sur l'excrétion urinaire de 6-sulfatoxy-mélatonine. La phase circadienne est déterminée sur la base du point milieu de la courbe d'excrétion urinaire de 6-sulfatoxy-mélatonine. Les panneaux du haut réfèrent aux périodes de collecte avant les quarts de jour, de soir et de nuit (service de police A uniquement). Les panneaux du bas réfèrent aux périodes de collecte entourant les quarts de nuit, soit avant et après une série de quarts de nuit (services de police A et B, (7 quarts [n = 44, 64,7 %], 4 à 6 quarts [n = 23, 33,8 %], 3 quarts [n = 1, 1,5 %]) et de journées de congé suivant ces derniers (service de police A uniquement, 6 congés [n = 15, 93,8 %], 8 congés [n = 1, 6,2 %]). Légende comparable à la figure 11.

Tableau 15. Phases circadiennes de 6-sulfatoxy-mélatonine et cortisol urinaires

	Mélatonine	Cortisol
Avant les quarts de jour	02:34 ± 1:01	10:18 ± 0:59
Avant les quarts de soir	04:42 ± 0:51	09:38 ± 0:58
Avant les quarts de nuit	03:07 ± 0:34	10:34 ± 0:57
Après les quarts de nuit	04:40 ± 1:16	11:44 ± 1:13
Après les journées de congé	02:47 ± 1:03	10:51 ± 1:01

5.4.9 Adaptation circadienne

Sur les 68 participants avec une collecte urinaire valide après leur série de quarts de nuit, 16 (23,5 %) présentent une adaptation de leur phase circadienne de 6-sulfatoxy-mélatonine urinaire.

La figure 13 présente l'exposition moyenne à la lumière blanche, rouge, verte ou bleue lors des quarts de nuit. L'augmentation de la lumière le matin correspond à l'heure du lever du soleil, tandis que la réduction de lumière en journée correspond au moment de la période diurne de sommeil. L'exposition à la lumière le matin est moins élevée dans le groupe adapté comparativement au groupe non adapté de policières et policiers, mais cette différence n'est pas significative (blanche : $F(1, 63) = 0,009$, $p = 0,92$; rouge : $F(1, 63) = 1,99$, $p = 0,16$; verte : $F(1, 63) = 1,55$, $p = 0,22$; bleue : $F(1, 63) = 0,66$, $p = 0,42$).

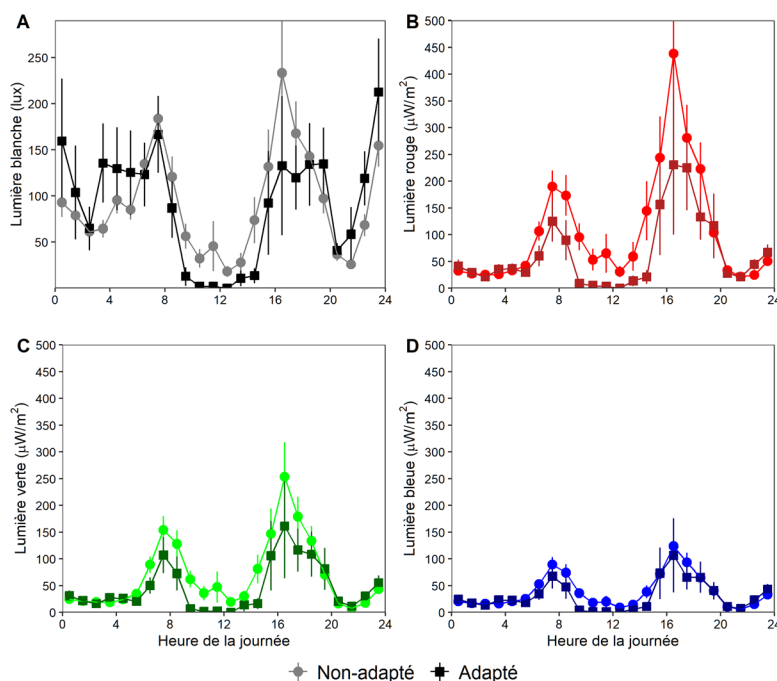


Figure 13. Exposition à la lumière lors des quarts de nuit en fonction de l'adaptation circadienne. L'exposition moyenne à la lumière blanche (A), rouge (B), verte (C) et bleue (D) est illustrée en fonction de l'heure de la journée pour le groupe non adapté (cercles) et adapté (carrés).

Le tableau 16 présente la moyenne des mesures subjectives et objectives de fatigue et de performance lors des quarts de nuit selon le groupe d'adaptation. La somnolence, la fatigue, la vigilance et la vitesse de réaction sont comparables entre les groupes de policières et policiers adaptés et non adaptés circadiennement au travail de nuit.

Tableau 16. Fatigue et performance en fonction de l'adaptation circadienne

	Adapté	Non adapté	Valeur de p
Somnolence	4,53 ± 0,89	4,80 ± 1,04	T(56,01)=0,89, p=0,38
Fatigue	3,76 ± 0,60	3,93 ± 0,64	T(56,45)=0,90, p=0,37
Vigilance	58,10 ± 10,22	52,84 ± 10,27	T(54,58)=1,89, p=0,064
Humeur	67,64 ± 14,50	62,72 ± 11,96	T(55,72)=1,38, p=0,17
Vitesse de réaction	3,70 ± 0,45	3,46 ± 0,5	T(56,00)=1,52, p=0,13
Index composé de fatigue subjectif	-0,14 ± 0,54	0,13 ± 0,81	T(57,33)=1,25, p=0,22
Index composé de fatigue objectif	0,31 ± 1,08	0,75 ± 1,11	T(58,93)=1,02, p=0,31

5.4.10 Incidents au travail liés à la fatigue

La probabilité de rapporter avoir involontairement contrevenu au code de la sécurité routière en fin de quart est différente entre les types de quarts et selon leur durée (comparaison avec un modèle sans ces effets $\chi^2(3) = 15,60$, $p = 0,0013$). Elle est de 2,1 % pour les quarts de jour, 2,9 % pour les quarts de soir, 6,9 % pour les quarts de nuit et 6,8 % pour les « autres » quarts. Par rapport aux quarts de jour, cette probabilité est significativement plus élevée pour les quarts de nuit ($Z = 3,21$, $p = 0,0013$) et les « autres » quarts que pour les quarts de jour ($Z = 2,91$, $p = 0,0037$). Les policières et policiers rapportent aussi avoir involontairement contrevenu au code de la sécurité routière significativement plus souvent en fonction de la durée du quart (comparaison avec un modèle sans l'effet de la durée du quart ($\chi^2(1) = 3,92$, $p = 0,048$), avec une augmentation du risque relatif de 1,11 par heure travaillée). Si la variable de durée du travail est transformée en variable dichotomique ($>$ ou ≤ 12 heures), les quarts de travail plus longs (> 12 heures, 7,9 %) sont plus à risque que les quarts plus courts (≤ 12 heures, 3,7 %, comparaison avec un modèle sans l'effet de la durée du quart $\chi^2(1) = 5,76$, $p = 0,016$).

La probabilité de rapporter avoir « cogné des clous » en fin de quart est différente entre les types de quarts et selon leur durée (comparaison avec un modèle ces effets $\chi^2(3) = 173,11$, $p < 0,0001$). Elle est de 28,8 % pour les quarts de jour, 20,4 % pour les quarts de soir, 59,1 % pour les quarts de nuit et 43,9 % pour les « autres » quarts. Cette probabilité est significativement plus élevée pour les quarts de nuit ($Z \geq 4,02$, $p < 0,0001$), suivi des « autres » quarts ($Z \geq 4,57$, $p < 0,0001$), puis des quarts de jour ($Z \geq 2,20$, $p = 0,028$), comparativement aux quarts de soir. Les policières et policiers rapportent aussi avoir « cogné des clous » plus souvent après avoir travaillé plus longtemps au cours de leur quart (comparaison avec un modèle sans l'effet de la durée du quart, $\chi^2(1) = 16,40$, $p < 0,0001$, avec une augmentation du risque relatif de 1,11 par heure travaillée). Si la variable de durée du travail est transformée en variable dichotomique ($>$ ou ≤ 12 heures), les quarts de travail plus longs (> 12 heures, 49,4 %) sont plus à risque que les quarts plus courts (≤ 12 heures, 37,4 %, comparaison avec un modèle sans l'effet de la durée du quart $\chi^2(1) = 14,14$, $p = 0,0002$).

Les participants ont aussi reçu la directive de rapporter les incidents survenus au travail qu'ils considèrent être reliés à la fatigue. Ceci a pu être documenté dans l'appareil téléphonique à tout moment au cours de l'étude. Les policières et policiers ont ainsi rapporté des manquements au code de sécurité routière au cours de leur période de travail (44 fois), de la somnolence excessive (23 fois), des erreurs administratives (3 fois), des erreurs dans l'accomplissement de leurs tâches (3 fois) et des problèmes cognitifs (3 fois) qu'ils ont reliés à la fatigue. En cours d'étude, les policières et policiers ont rapporté en moyenne 1,0 incident survenu au travail qu'ils associent à la fatigue. Une grande partie de ces incidents ont été rapportés lors des quarts de nuit (40 fois), suivis des quarts de jour (16 fois), des quarts de type « autre » (12 fois), puis des quarts de soir (8 fois).

5.4.11 Pauses et périodes de repas au travail

Les policières et policiers rapportent ne pas avoir eu l'opportunité de prendre une pause repas lors de 21,3 % de leurs quarts de jour, 19,5 % de leurs quarts de soir, 14,4 % de leurs quarts de nuit et 20,9 % de leurs « autres » quarts. Cette proportion (comparaison avec un modèle sans l'effet de l'opportunité de prendre une pause repas ($\chi^2(3) = 8,18$, $p = 0,042$) est significativement plus élevée pour les quarts de jour ($Z = 2,42$, $p = 0,016$) et les « autres » quarts ($Z = 2,47$, $p = 0,013$) que pour les quarts de nuit.

Les policières et policiers rapportent ne pas avoir mangé lors de 3,9 % de leurs quarts de jour, 1,0 % de leurs quarts de soir, 8,6 % de leurs quarts de nuit et 9,1 % de leurs « autres » quarts. Cette proportion (comparaison avec un modèle sans l'effet d'avoir mangé $\chi^2(3) = 27,30$, $p < 0,0001$) est significativement plus élevée pour les quarts de nuit et « autres » quarts que pour les quarts de jour ($Z \geq 2,03$, $p \leq 0,041$) ou de soir ($Z \geq 3,38$, $p \leq 0,0007$). De plus, cette proportion est significativement plus élevée pour les quarts de jour que pour les quarts de soir ($Z = 2,10$, $p = 0,036$).

Les repas ont été incomplets lors de 16,0 % des quarts de jour, 10,4 % des quarts de soir, 27,0 % des quarts de nuit et 20,6 % des « autres » quarts. Cette proportion (comparaison avec un modèle sans l'effet d'un repas incomplet $\chi^2(3) = 49,97$, $p < 0,0001$) est significativement plus élevée pour les quarts de nuit que pour tout autre type de quarts ($Z \geq 2,40$, $p \leq 0,016$). De plus, cette proportion est significativement plus élevée lors des quarts de jour ($Z = 2,69$, $p = 0,0072$) et autres quarts ($Z = 1,35$, $p = 0,0004$) que lors des quarts de soir. Les niveaux de somnolence (effet d'un repas incomplet : $F(1, 1286) = 4,18$, $p = 0,041$) sont significativement réduits en fin de quart si les policières et policiers prennent un repas complet au travail comparativement à s'ils n'en prennent pas (-0,24 unité à l'échelle de Karolinska, $T(1299,93) = 2,23$, $p = 0,026$), et ce de manière comparable entre les types de quarts (interaction repas incomplet x type de quart : $F(3, 1275,2) = 0,35$, $p = 0,78$).

5.5 Prédiction des risques liés à la fatigue

5.5.1 Présentation de l'index composé subjectif de fatigue

L'index composé subjectif de fatigue est défini comme la 1^{ère} composante de l'analyse en composantes principales des mesures subjectives de fatigue. Cette 1^{ère} composante explique 75,2 % de la variance des variables subjectives, soit la vigilance, la fatigue, la somnolence et l'humeur. À titre comparatif, la 2^e composante explique seulement 16,2 % de la variance. Ainsi,

la vigilance, la fatigue et la somnolence sont corrélées de façon beaucoup plus importante avec la 1^{re} composante ($r = 0,83$ à $0,87$) que l'humeur ($r = 0,45$).

La figure 14 illustre la distribution de l'*index composé subjectif de fatigue* pour tous les questionnaires considérés dans l'analyse portant sur l'outil de prédiction des risques liés à la fatigue.

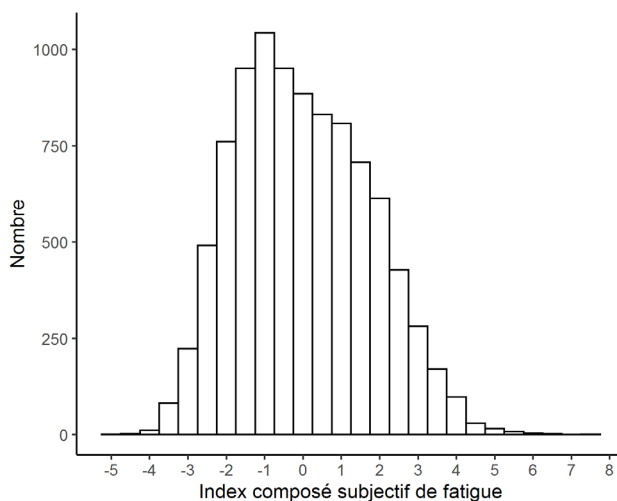


Figure 14. Distribution de l'*index composé subjectif de fatigue*.

L'*index composé objectif de fatigue* est défini comme la 1^{re} composante de l'analyse en composantes principales des mesures objectives liées à la fatigue. Cette 1^{re} composante explique 53,5 % de la variance des variables objectives, soit les variables découlant du TVP. À titre comparatif, la 2^e composante explique seulement 17,9 % de la variance.

La figure 15 illustre la distribution de l'*index composé objectif de fatigue*.

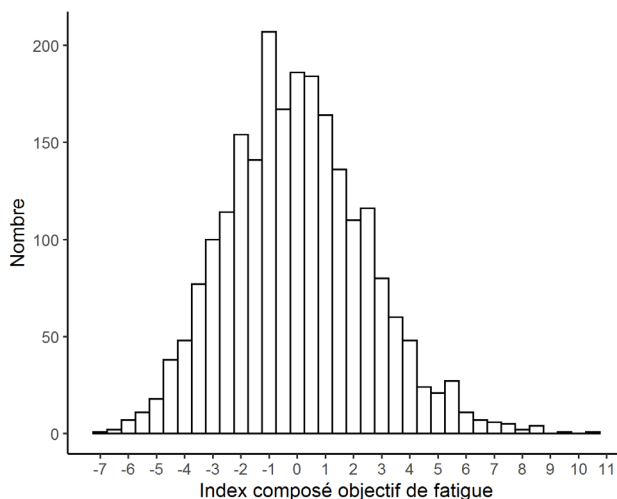


Figure 15. Distribution de l'*index composé objectif de fatigue*.

5.5.2 Évaluation du risque basé sur l'index composé subjectif de fatigue

Niveaux de risque et scores de somnolence :

L'étude de Ingre *et al.* (2006) a été considérée pour établir les niveaux de risque. Cette étude montre qu'un score de 6 sur l'échelle de somnolence de Karolinska s'associe à un risque 2,14 fois plus élevé d'avoir un « accident » sur un simulateur de conduite comparativement à un score de ≤ 5 . Pour des niveaux de somnolence plus élevés, le risque d'avoir un accident en simulateur de conduite augmente de façon exponentielle, soit de 6,37 fois pour un niveau de somnolence de 7, de 28,2 fois pour un niveau de somnolence de 8 et de 185 fois pour un niveau de somnolence de 9, comparativement à un score de ≤ 5 . Ainsi un score de somnolence ≤ 5 , 6-7, 8 et 9 a été associé à un niveau de risque faible, modéré, élevé et très élevé, respectivement. Ces niveaux correspondent à un *Index composé subjectif de fatigue* de $< 0,5$, de $\geq 0,5$ à < 2 , de ≥ 2 à < 3 et de ≥ 3 , respectivement.

Une variabilité est observée dans les valeurs individuelles constituant chacune de ces catégories de risque (tableau 17). Ainsi, le niveau faible de risque lié à la fatigue correspond à un *Index composé subjectif de fatigue* $< 0,5$. Dans cette zone, le score de somnolence de Karolinska est de ≤ 5 et la majorité (93,1 %) des données individuelles des participants ont aussi un score de somnolence de ≤ 5 . Les autres données individuelles de cette zone montrent un score de somnolence plus élevé, soit 5,5 %, 1,2 %, 0,2 % et 0,0 % des données qui ont un score de somnolence de 6, 7, 8 et 9, respectivement.

Un niveau modéré de risque lié à la fatigue et correspond à un *Index composé subjectif de fatigue* entre $\geq 0,5$ et < 2 . Dans cette zone, le score de somnolence de Karolinska est de 6 (*signes de somnolence*) ou 7 (*somnolent, mais reste éveillé sans effort*). Dans cette zone, la majorité (51,6 %) des données individuelles des participants ont aussi un score de somnolence de 6 ou 7. Les autres données individuelles de cette zone montrent un score de somnolence inférieur, soit 37,5 % d'entre elles qui ont un score de ≤ 5 tandis que 10,0 % et 0,8 % des données individuelles ont un score de somnolence plus élevé, soit de 8 et 9, respectivement.

Un niveau élevé de risque lié à la fatigue et correspond à un *Index composé subjectif de fatigue* de ≥ 2 à < 3 . Dans cette zone, le score de somnolence de Karolinska est de 8 (*somnolent, demande des efforts pour rester éveillé*). Dans cette zone, 43,4 % des données individuelles des participants ont aussi un score de somnolence de 8. Les autres données individuelles de cette zone montrent un score de somnolence plus élevé de 9 (6,8 %) tandis que 9,2 %, 18,7 % et 21,8 % des données individuelles ont un score de somnolence plus faible, soit ≤ 5 , 6 ou 7, respectivement.

Un niveau très élevé de risque lié à la fatigue et correspond à un *Index composé subjectif de fatigue* ≥ 3 . Dans cette zone, le score de somnolence de Karolinska est de 9 (*très somnolent, demande de gros efforts pour rester éveillé, lutte contre le sommeil*). Dans cette zone, 20,8 % des données individuelles des participants ont aussi un score de somnolence de 9. Les autres données individuelles de cette zone montrent un score de somnolence plus faible (6,0 % un score de ≤ 5 , 14,5 % de 6, 15,7 % de 7 et 43,0 % de 8).

Tableau 17. Données individuelles de somnolence par niveau de risque.

Niveau de risque	Score de somnolence de Karolinska					Total
	1-5	6	7	8	9	
Faible	5410 (93,1 %)	319 (5,5 %)	70 (1,2 %)	9 (0,2 %)	0 (0,0 %)	61,8 %
Modéré	854 (37,5 %)	709 (31,1 %)	468 (20,5 %)	229 (10,0 %)	19 (0,8 %)	24,2 %
Élevé	80 (9,2 %)	162 (18,7 %)	189 (21,8 %)	375 (43,4 %)	59 (6,8 %)	9,2 %
Très élevé	27 (6,0 %)	65 (14,5 %)	70 (15,7 %)	192 (43,0 %)	93 (20,8 %)	4,8 %

Les pourcentages entre parenthèses dans le tableau correspondent aux données observées dans chaque catégorie de risque. Ainsi ces pourcentages totaliseront 100 % pour chaque rangée de catégorie de risque. La dernière colonne intitulée « Total » présente la répartition de l'ensemble des données dans les diverses catégories de risque et exprimées en pourcentage des données totales.

Niveaux de risque et scores de fatigue :

L'analyse des scores de fatigue pour les divers niveaux de risque est détaillée au tableau 18. Pour un niveau faible de risque lié à la fatigue, le score de fatigue au travail de Samn-Perelli est de ≤ 4 (*un peu fatigué, pas tout à fait reposé*) et la majorité (95,1 %) des données individuelles des participants ont aussi un score de fatigue de ≤ 4 . Les autres données individuelles de cette zone montrent un score de fatigue au travail plus élevé, soit de 4,9 %, de 0,0 % et de 0,0 % des données qui ont un score de 5, 6 et 7, respectivement.

Pour un niveau modéré de risque lié à la fatigue, le score de fatigue au travail est de 5 (*assez fatigué, un peu déconcentré*) et la majorité (51,1 %) des données individuelles des participants ont aussi un score de fatigue de 5. Les autres données individuelles de cette zone montrent un score de fatigue au travail inférieur, soit 39,5 % d'entre elles qui ont un score de ≤ 4 tandis que 9,0 % et 0,4 % des données ont un score de fatigue plus élevé, soit de 6 et 7, respectivement.

Pour un niveau élevé de risque lié à la fatigue, le score de fatigue au travail est de 6 (*extrêmement fatigué, très difficile de se concentrer*) et 43,4 % des données individuelles des participants ont aussi un score de fatigue de 6. Les autres données individuelles de cette zone montrent un score de fatigue plus élevé de 7 (4,7 %) tandis que 7,4 % et 44,5 % des données individuelles ont un score de somnolence plus faible, soit ≤ 4 ou 5, respectivement.

Pour un niveau très élevé de risque lié à la fatigue, le score de fatigue au travail est de 7 (*complètement épuisé, incapable de fonctionner efficacement*) et 16,3 % des données individuelles des participants ont aussi un score de fatigue de 7. Les autres données individuelles de cette zone montrent un score de somnolence plus faible (4,3 % un score ≤ 4 , 29,3 % de 5 et 50,1 % de 6).

Tableau 18. Données individuelles de fatigue par niveau de risque.

Niveau de risque	Fatigue (Échelle de Samn-Perelli)				Total
	1-4	5	6	7	
Faible	5522 (95,1 %)	285 (4,9 %)	1 (0,0 %)	0 (0,0 %)	61,8 %
Modéré	901 (39,5 %)	1164 (51,1 %)	205 (9,0 %)	9 (0,4 %)	24,2 %
Élevé	64 (7,4 %)	385 (44,5 %)	375 (43,4 %)	41 (4,7 %)	9,2 %
Très élevé	19 (4,3 %)	131 (29,3 %)	224 (50,1 %)	73 (16,3 %)	4,8 %

Les pourcentages entre parenthèses dans le tableau correspondent aux données observées dans chaque catégorie de risque. Ainsi ces pourcentages totaliseront 100 % pour chaque rangée de catégorie de risque. La dernière colonne intitulée « Total » présente la répartition de l'ensemble des données dans les diverses catégories de risque et exprimées en pourcentage des données totales.

Niveaux de risque et *index composé objectif de fatigue* :

Les niveaux de risque faible, modéré, élevé et très élevé de fatigue correspondent à un *Index composé subjectif de fatigue* de < 0,5, de ≥ 0,5 à < 2, de ≥ 2 à < 3 et de ≥ 3, respectivement. L'*index composé objectif de fatigue* est environ 0,3 point plus élevé que l'*index composé subjectif de fatigue*. Ainsi, les niveaux de risque faible, modéré, élevé et très élevé de fatigue correspondent à un *Index composé objectif de fatigue* de < 0,8, de ≥ 0,8 à < 2,3, de ≥ 2,3 à < 3,3 et de ≥ 3, respectivement.

Niveaux de risque et changements de temps de réaction :

Sur la base de l'étude de Lamond *et al.* (2004), il est possible de déterminer des changements de temps de réaction analogues à ceux observés avec un niveau d'alcoolémie de 0,05 g/100 ml ou 0,08 g/100 ml. Ces changements correspondent à une augmentation de 11,35 % et 18,16 % du temps de réaction. Dans la présente étude, ces changements ont été calculés individuellement par rapport au temps moyen de réaction observé en début des quarts de jour et de soir.

Pour un niveau faible de risque lié à la fatigue, la majorité (95,2 %) des données individuelles des participants ont un changement de temps de réaction < 11,35 % (tableau 19). Les autres données individuelles de cette zone montrent un changement de temps de réaction plus élevé, soit 3,6 % et 1,2 % des données qui ont un changement de temps de réaction entre 11,35 % et 18,16 % ou > 18,16 %, respectivement.

Pour un niveau modéré de risque lié à la fatigue, la majorité (65,4 %) des données individuelles des participants ont un changement de temps de réaction < 11,35 %. Les autres données individuelles de cette zone montrent un changement de temps de réaction plus élevé, soit 23,7 % et 11,0 % des données qui ont un changement de temps de réaction entre 11,35 % et 18,16 % ou > 18,16 %, respectivement.

Pour un niveau élevé de risque lié à la fatigue, 40,1 %, 27,8 % et 32,1 % des données individuelles des participants ont un changement de temps de réaction < 11,35 %, entre 11,35 % et 18,16 %, ou > 18,16 %, respectivement.

Pour un niveau très élevé de risque lié à la fatigue, la majorité (66,7 %) des données individuelles des participants ont un changement de temps de réaction > 18,16 %. Les autres données

individuelles de cette zone montrent un changement de temps de réaction plus faible, soit 13,8 % et 19,5 % des données qui ont un changement de temps de réaction < 11,35 % ou entre 11,35 et 18,16 %, respectivement.

Tableau 19. Données individuelles de performance par niveau de risque.

Niveau de risque	Changement de temps de réaction			Total
	< 11,35 %	de 11,35 à 18,16 %	> 18,16 %	
Faible	1400 (95,2 %)	53 (3,6 %)	18 (1,2 %)	64,6 %
Modéré	268 (65,4 %)	97 (23,7 %)	45 (11,0 %)	18,0 %
Élevé	75 (40,1 %)	52 (27,8 %)	60 (32,1 %)	8,2 %
Très élevé	29 (13,8 %)	41 (19,5 %)	140 (66,7 %)	9,2 %

Les pourcentages entre parenthèses dans le tableau correspondent aux données observées dans chaque catégorie de risque. Ainsi ces pourcentages totaliseront 100 % pour chaque rangée de catégorie de risque. La dernière colonne intitulée « Total » présente la répartition de l'ensemble des données dans les diverses catégories de risque et exprimées en pourcentage des données totales.

Niveaux de risque et paramètres de fatigue :

Les valeurs des mesures de fatigue pour les quatre niveaux de risque sont détaillées dans le tableau 20. Les valeurs de l'*index composé subjectif de fatigue* et de l'*index composé objectif de fatigue* délimitant les quatre niveaux de risque sont présentées. De plus les valeurs médianes (\pm É.T.) correspondant à ces niveaux sont présentées pour le score de somnolence de Karolinska, l'échelle de fatigue de Samn-Perelli et le changement de temps de réaction au PVT.

Tableau 20. Identification des niveaux de risque

Risque	<i>Index composé subjectif de fatigue</i>	<i>Index composé objectif de fatigue</i>	Somnolence médiane	Fatigue médiane	Δ temps de réaction médian	Total
Faible	< 0,5	< 0,8	4 \pm 1,27	3 \pm 0,94	0,6 \pm 0,12 %	61,8 %
Modéré	entre \geq 0,5 et < 2	entre \geq 0,8 et < 2,3	6 \pm 1,21	5 \pm 0,72	5,9 \pm 0,14 %	24,2 %
Élevé	entre \geq 2 et < 3	entre \geq 2,3 et < 3,3	8 \pm 1,13	5 \pm 0,72	8,1 \pm 0,32 %	9,2 %
Très élevé	\geq 3	\geq 3	8 \pm 1,19	6 \pm 0,77	15,8 \pm 0,12 %	4,8 %

Valeurs médianes \pm É.T. pour divers niveaux de risque.

Distribution de l'*index composé de fatigue* après détermination des niveaux de risque :

La figure 16 illustre la distribution de l'*index composé subjectif de fatigue* et les niveaux de risque associés. Ainsi, 61,8 % des questionnaires sont classés dans un niveau de risque faible, 24,2 % dans un niveau de risque modéré, 9,2 % dans un niveau de risque élevé et 4,8 % dans un niveau de risque très élevé.

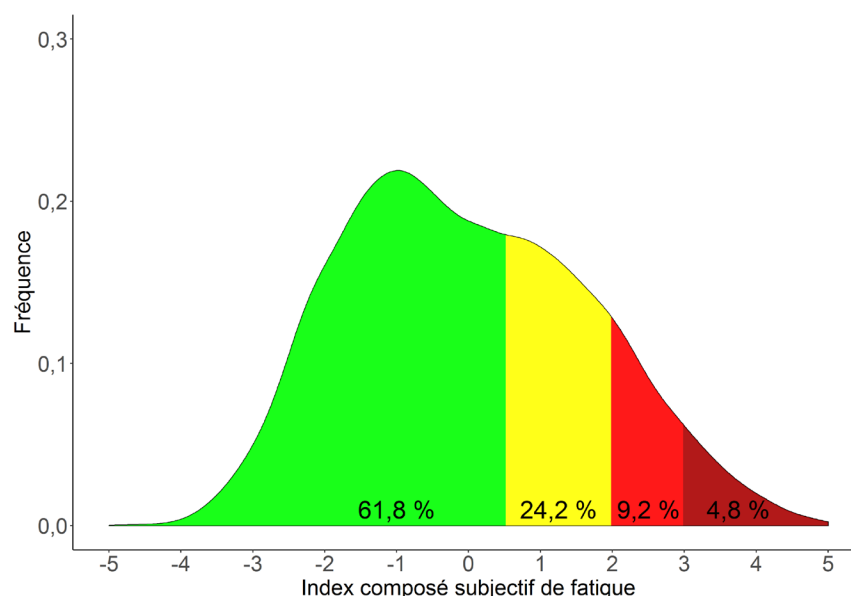


Figure 16. Distribution de l'index composé subjectif de fatigue par niveaux de risque. Les zones colorées représentent un niveau de risque faible (vert), modéré (jaune) élevé (rouge) et très élevé (rouge foncé). Le pourcentage inscrit dans chacune des zones de risque indique la proportion des questionnaires correspondant à ces niveaux de risque.

5.5.3 Modélisation

Les résultats du modèle de régressions linéaires multiples avec effet aléatoire sont présentés au tableau 21. Globalement, les facteurs retenus dans ce modèle expliquent ~39 % de la variance de l'index composé subjectif de fatigue. De ce pourcentage, ~5 % est expliqué par l'effet individuel. Si seulement les facteurs personnels du tableau 21 sont utilisés pour créer le modèle, ils expliquent 26 % de la variance. Si seulement les facteurs opérationnels du tableau 21 sont utilisés pour créer le modèle, ils expliquent 24 % de la variance.

Tableau 21. Liste des variables significatives du modèle.

Facteurs	Valeur de p
<i>Facteurs personnels</i>	
Nombre d'heures éveillées	< 0,0001
Nombre d'heures éveillées (au carré)	< 0,0001
Nombre d'heures éveillées (racine carrée)	< 0,0001
Nombre d'heures de sommeil des 24 dernières heures	< 0,0001
Nombre d'heures de sommeil des 24 dernières heures (au carré)	0,0072

<i>Facteurs opérationnels</i>	
Service de police (A vs B)	< 0,0001
Heure de la journée (cosinus)	< 0,0001
Heure de la journée (sinus)	< 0,0001
Nombre d'heures travaillées depuis le début du quart	< 0,0001
Nombre d'heures travaillées depuis le début du quart (au carré)	< 0,0001
Heures travaillées dans les 24 dernières heures	0,0014
Heures travaillées dans les 48 dernières heures	< 0,0001
Heures travaillées la nuit dans les 24 dernières heures	0,0006
Nombre de quarts de jour des 7 derniers jours	0,0022
Nombre de quarts de soir des 7 derniers jours	< 0,0001
Nombre de quarts de congé des 7 derniers jours	0,0005

Les facteurs inclus dans le modèle sont pour la plupart significatifs. Toutefois, le nombre d'heures travaillées la nuit ou non (dans les 24, 48 ou 72 dernières heures ou dans les 7 derniers jours) ne contribue pas significativement à l'*index composé subjectif de fatigue*.

Afin de tester la valeur prédictive de notre outil, les valeurs prédites de l'*index composé subjectif de fatigue* ont été comparées aux valeurs individuelles observées dans l'étude expérimentale.

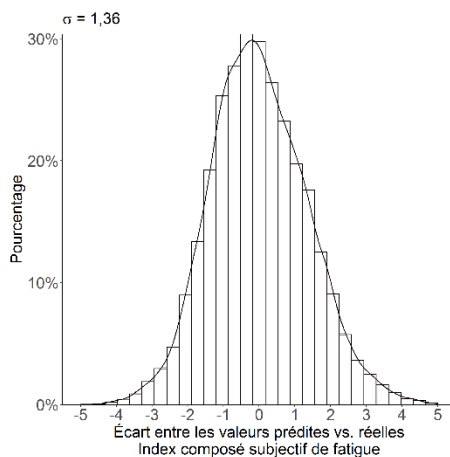


Figure 17. Distribution des résidus. Écart entre les valeurs prédites et réelles de l'index composé subjectif de fatigue.

5.5.4 Outil de prédiction des risques liés à la fatigue

À partir des résultats de la modélisation de la fatigue, un outil simple a été créé pour estimer l'*index composé subjectif de fatigue* et les niveaux de risque liés à la fatigue.

Les figures 18 à 21 illustrent divers scénarios d'horaire de travail.

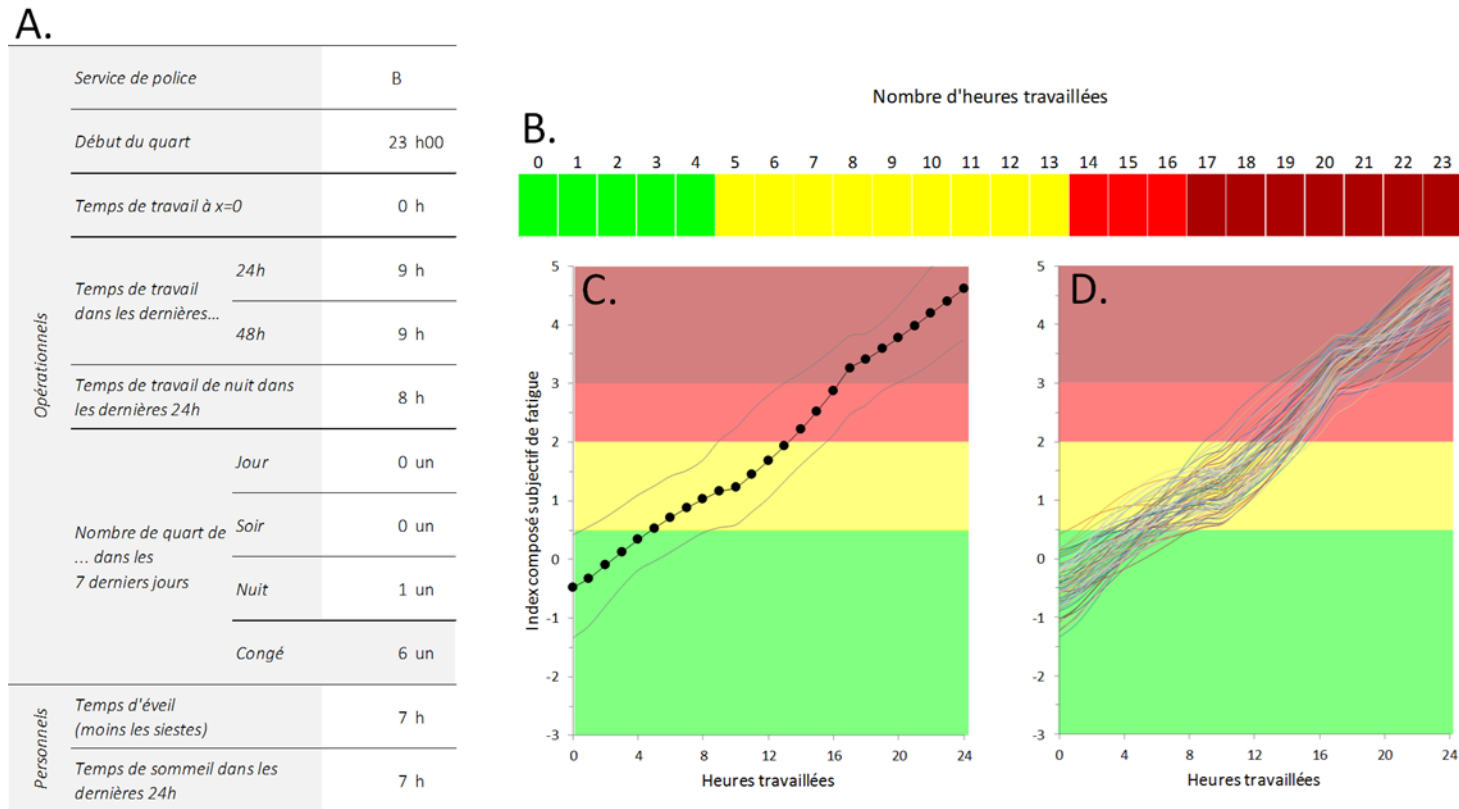


Figure 18. Prédiction des niveaux de risque liés à la fatigue. Le panneau A est une zone d'entrée des valeurs de facteurs servant à l'estimation de l'*index composé subjectif de fatigue*. Le panneau B illustre les niveaux de risque en fonction du nombre d'heures travaillées. Les panneaux C et D illustrent les valeurs estimées de l'*index composé subjectif de fatigue* et les niveaux de risque associés en fonction du nombre d'heures travaillées et des conditions initiales définies au panneau A. Le panneau C illustre les valeurs moyennes estimées de l'*index composé subjectif de fatigue* ainsi que les valeurs minimales et maximales. Le panneau D illustre les valeurs individuelles estimées de l'*index composé subjectif de fatigue* pour chaque participant de l'étude. Cette figure détaille ainsi la variabilité individuelle de la courbe moyennée du panneau C.

Au panneau A, différentes valeurs des facteurs du modèle contribuant à la fatigue (tableau 21) sont entrées. Ces valeurs sont modifiables et permettent d'établir les paramètres du scénario de prédiction des risques liés à la fatigue en début de quart de travail. Le scénario présenté à la figure 18 correspond à un quart de travail débutant à 23:00, 7 heures après le réveil du dernier épisode principal de sommeil et faisant suite à un quart de nuit la journée précédente. Ces conditions sont représentatives des conditions moyennes observées dans notre groupe de participants lors d'une série des quarts de nuit.

La prédiction des risques liés à la fatigue à partir des conditions de départ sélectionnées au panneau A est illustré aux panneaux B, C et D. Puisque cet outil est conçu pour être utilisé dans un milieu de travail, la prédiction des risques liés à la fatigue se fait en fonction du nombre d'heures travaillées (axe des X). La prédiction est présentée de 3 différentes façons :

- Panneau B. Une échelle horizontale colorée indiquant les niveaux de risque en fonction du nombre d'heures travaillées;
- Panneau C. L'estimation de l'*index composé subjectif de fatigue* en fonction du nombre d'heures travaillées ainsi que la variabilité interindividuelle associée. Les cercles et la ligne foncée qui les relie en représentent la moyenne et l'étendue des données. Les lignes minces au-dessus et en dessous de la ligne centrale illustre l'estimation pour l'individu le plus et le moins fatigué, à chaque heure travaillée, respectivement;
- Panneau D. L'estimation de l'*index composé subjectif de fatigue* en fonction du nombre d'heures travaillées est faite individuellement pour chaque participant. La variabilité du panneau C (lignes minces) correspond au contour de ces données.

5.5.5 Estimation du risque lié à la fatigue sur différents horaires de travail

Avec cet outil, il est possible d'explorer les risques liés à la fatigue pour différents horaires de travail. La figure 19 illustre un exemple d'horaire de travail et de sommeil d'un policier et en prédit le niveau moyen de risque lié à la fatigue.

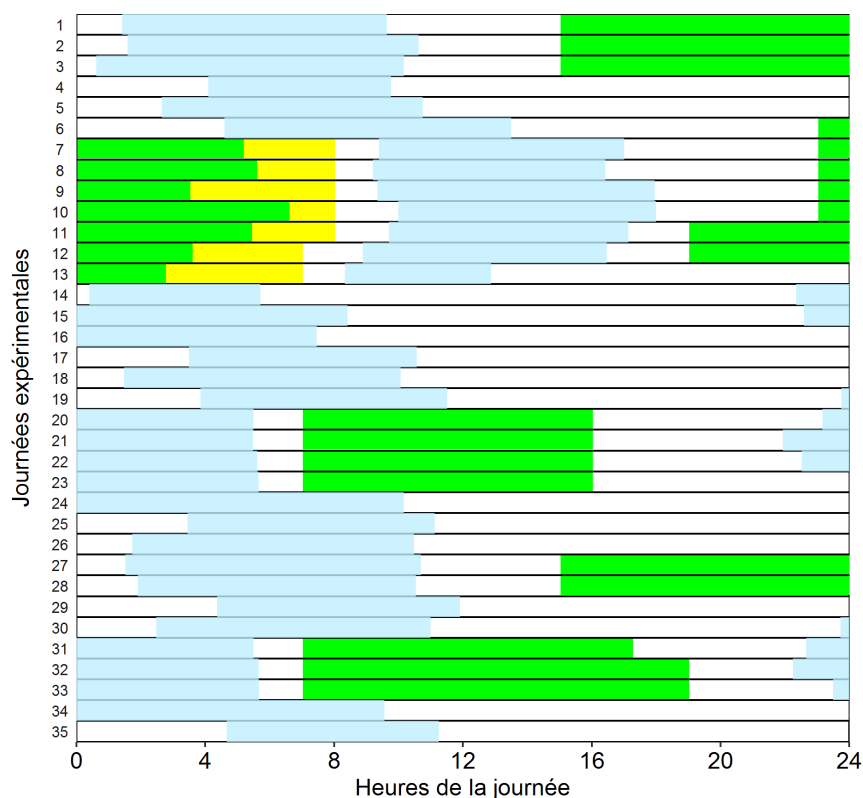


Figure 19. Niveaux de risque liés à la fatigue sur l'horaire habituel de travail. Les épisodes de sommeil sont représentés par des rectangles bleus. Les rectangles verts (risque faible) et jaunes (risque modéré) représentent le niveau de risque au cours des périodes de travail.

On remarque que le risque est faible pour les quarts de jour et de soir, tandis qu'il atteint des niveaux modérés en milieu et fin de quarts de nuit.

Il est aussi possible de simuler l'effet du temps supplémentaire en prolongeant la durée de quart de travail. À la figure 20, des quarts débutant le jour (figure 20A, jour 23), le soir (figure 20B, jour 4) et la nuit (C, jour 11) se sont prolongés pendant 16 heures consécutives de travail.

La figure 20A illustre le risque estimé lorsque le temps supplémentaire suit un quart de jour.

La figure 20B illustre le risque estimé lorsque le temps supplémentaire suit un quart de soir.

La figure 20C illustre le risque estimé lorsque le temps supplémentaire suit un quart de nuit.

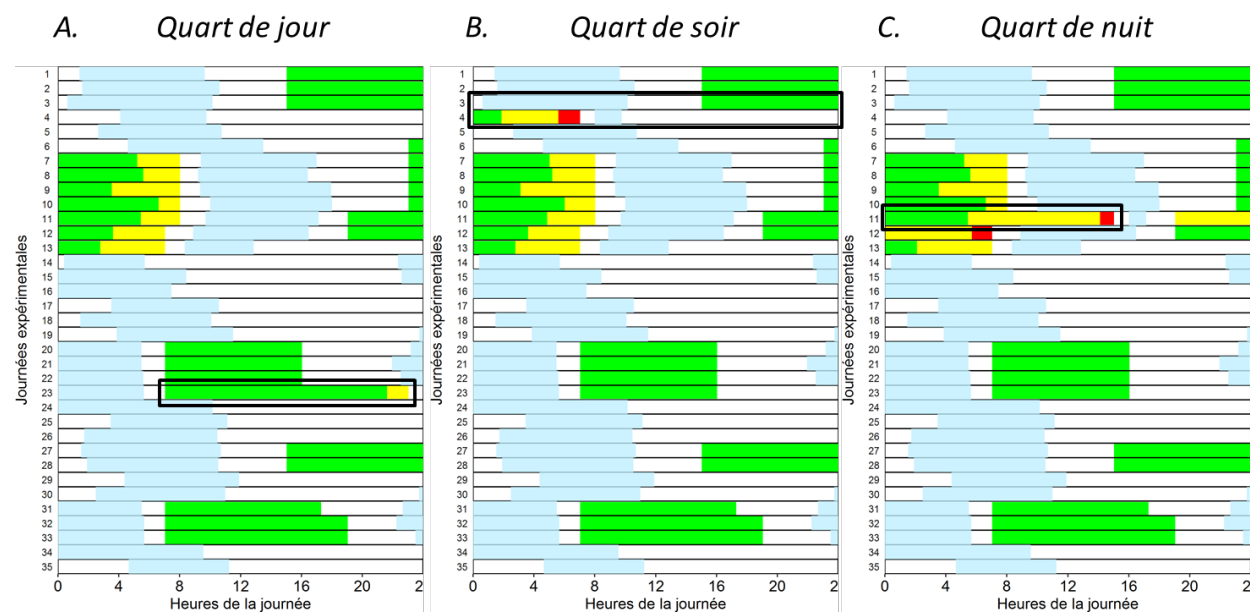


Figure 20. Niveau de risque lié à la fatigue lors de quarts prolongés. Les épisodes de sommeil sont représentés par des rectangles bleus. Les rectangles verts (risque faible), jaunes (risque modéré) et rouges (risque élevé) représentent divers niveaux de risque au travail liés à la fatigue. Les quarts prolongés sont identifiés par des rectangles noirs. Pour cette figure, le quart de jour de la 23^e journée expérimentale (panneau A), le quart de soir de la 4^e journée expérimentale (panneau B) et le quart de nuit de la 11^e journée expérimentale (panneau C) sont d'une durée de 16 heures consécutives de travail.

En plus des estimations de groupe, il est important de tenir compte de la variabilité interindividuelle. La figure 21 reprend l'horaire de la figure 19, mais cette fois pour le participant le moins fatigué (figure 21A) et le plus fatigué (figure 21B). Le participant le moins fatigué atteint un niveau modéré de risque en toute fin de nuit, tandis que le participant le plus fatigué présente un niveau modéré de risque pendant la majeure partie de son quart de nuit et atteint un niveau élevé de risque à la fin de son premier quart de travail de nuit.

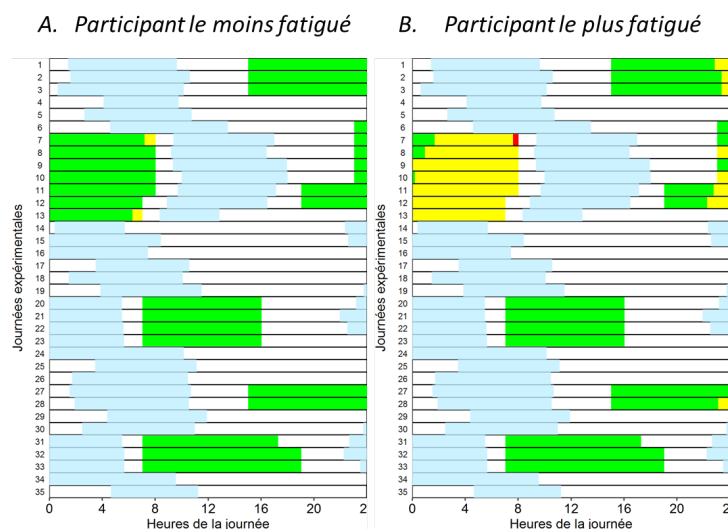


Figure 21. Niveaux individuels de risque liés à la fatigue sur l'horaire habituel de travail. Les épisodes de sommeil sont représentés par des rectangles bleus. Les rectangles verts (risque faible), jaunes (risque modéré) et le rectangle rouge (risque élevé) représentent le niveau de risque au cours des périodes de travail. Pour cette figure, le niveau de risque est simulé pour le participant le moins (panneau A) et le plus (panneau B) fatigué.

5.6 Rencontre avec les partenaires

Les partenaires des services de police participant à l'étude ont été rencontrés pour leur présenter les résultats de l'étude et l'outil de prédiction des risques liés à la fatigue au travail. Des représentants patronaux, syndicaux, des chefs d'équipe, capitaines, représentants en ressources humaines et en santé et sécurité au travail, ont participé à cette rencontre avec l'équipe de recherche.

Les résultats propres à chaque organisation étudiée leur ont été présentés. Entre autres, il fut question de la variabilité entre les individus et des particularités de chaque service de police étudié. Des discussions ont eu lieu sur l'importance de l'horaire de sommeil comme facteur prédictif individuel des risques liés à la fatigue. Sur ce point, des réticences ont été exprimées à l'effet de collecter des données confidentielles de policières et policiers. Des analyses ultérieures pourront explorer l'utilité d'un outil de prédiction basé uniquement sur l'horaire de travail. Ce dernier pourrait estimer la durée moyenne de sommeil sur la base de l'horaire de travail.

Ces rencontres ont également été l'opportunité d'initier une discussion sur l'utilité, au sein de leur organisation, d'un outil de prédiction des risques liés à la fatigue au travail. Considérant la problématique de protection des données confidentielles et de ses retombées légales, plusieurs rencontres de suivi seraient nécessaires avec les partenaires patronaux et syndicaux, en présence du conseiller en valorisation de l'IRSST et/ou du représentant de l'APSAM. Ces rencontres permettraient d'identifier les problématiques entourant l'intégration d'un tel outil dans un algorithme d'interventions réalistes visant à minimiser les risques liés à la fatigue au travail. Les priorités futures de recherche sur la question de la fatigue au travail pourraient aussi être discutées.

6. DISCUSSION

Cette étude représente la phase scientifique de collecte scientifique de données qui serviront à l'élaboration d'un SGRF pour des services de police. Cette étude a permis la collecte de résultats sur la base desquels repose le développement d'un outil de prédiction des risques liés à la fatigue spécifique aux services de police impliqués dans l'étude. La démarche de détermination des risques liés à la fatigue repose sur une approche itérative et systématique qui comprend deux volets principaux. Le premier volet avait pour but de déterminer les valeurs des variables dépendantes (mesures de fatigue) servant à délimiter les divers niveaux de risque. Cette démarche a amené la sélection d'un *Index composé subjectif de fatigue* qui a guidé la détermination des niveaux de risque liés à la fatigue. Le deuxième volet a eu pour but d'identifier les variables indépendantes significatives (facteurs affectant les mesures de fatigue) et d'intégrer ces facteurs dans la création d'un outil de prédiction des risques liés à la fatigue qui est spécifique aux partenaires qui ont participé dans cette étude.

6.1 Groupes de policières et policiers étudiés

Le groupe de policières et policiers étudiés est représentatif de leur service respectif. Les données générales sur leurs perturbations du sommeil et de l'éveil sont aussi cohérentes avec celles d'autres groupes étudiés de travailleuses et travailleurs sur horaires atypiques.

Ainsi, les données obtenues de l'APSAM en date du 28 novembre 2019 indiquent que l'ensemble des policiers municipaux affectés à la patrouille, supervision et aux enquêtes comprend 9 127 membres dont 28,4 % de femmes. Notre échantillon travaillant au service de police A est représentatif de ce groupe, car il est âgé de $30,8 \pm 4,4$ ans et comprend 30,8 % de femmes. Quant aux données obtenues auprès du service de police B en date du 29 novembre 2019, elles indiquent que l'ensemble des policières et policiers affectés à la patrouille comprend 3 900 membres âgés de $35,7 \pm 9,0$ ans dont 27,4 % de femmes (de 20,9 à 62,7 ans). Notre échantillon travaillant au service de police B est représentatif de ce groupe, car il est âgé de $32,7 \pm 5,7$ ans et comprend 24,0 % de femmes. Toutefois, notre échantillon comprend peu de policières et policiers âgés de ≥ 40 ans (1 sur 26 dans le service A et 6 sur 50 dans le service B), ce qui peut limiter la représentativité de nos résultats.

Les symptômes d'insomnie sont courants parmi les travailleuses et travailleurs de nuit. Dans une enquête téléphonique auprès de plus de 2500 travailleuses et travailleurs âgés de 18 à 65 ans, des symptômes suggestifs d'un trouble du cycle éveil-sommeil associé au travail posté ont été observés chez 14,1 % des travailleuses et travailleurs de nuit et 8,1 % des travailleuses et travailleurs sur horaire rotatif, mais aucun des travailleuses et travailleurs de jour (Drake *et al.*, 2004). Dans ce groupe, 18,5 %, 15,7 % et 8,6 % des travailleuses et travailleurs sur horaire de nuit, rotatif et de jour ont présenté des symptômes d'insomnie, respectivement, tandis que 44,8 %, 35,8 %, et 32,7 % d'entre eux ont présenté de la somnolence sévère (score ≥ 10).

Les policières et policiers de la présente étude rapportaient aussi des perturbations du sommeil et de la somnolence. Par contre, aucun d'entre eux n'ont rapporté de signes cliniques d'insomnie sévère alors que 7,7 % et 16,0 % (tableau 6) des policières et policiers des services de police A et B, respectivement, ont rapporté des signes cliniques d'insomnie modérée (score ISI de 15-21). Un ISI de 15 a initialement été validé pour sa cohérence interne et validité pour sélectionner des

populations cliniques (Bastien *et al.*, 2001). Une étude ultérieure suggère qu'un score de 11 est un meilleur compromis pour identifier des individus souffrant d'insomnie (Morin *et al.*, 2011). Si on utilise ce score d'ISI de ≥ 11 , 30,8 % et 34,0 % des policières et policiers des services de police A et B présentent des signes d'insomnie. En comparaison, une enquête menée auprès de 103 travailleurs de plateformes pétrolières a utilisé l'index de qualité du sommeil de Pittsburgh (PSQI) (Waage *et al.*, 2009). Cette étude a révélé un score de PSQI de 5,86 ($\pm 2,73$) et 4,08 ($\pm 2,84$) chez des travailleurs présentant (23,3 % du groupe) ou non un trouble d'adaptation du travailleur posté. La prévalence d'insomnie (score PSQI >5) a été de 41,7 % et 22,8 % chez ces derniers. Bien que les critères de détermination d'insomnie diffèrent entre les études, la prévalence d'insomnie dans la présente étude est cohérente avec celles d'études antérieures menées chez des travailleuses et travailleurs sur horaires atypiques.

Un pourcentage légèrement plus élevé de policières et policiers ne rapportent aucun signe d'insomnie au score d'insomnie d'Athènes comparativement au ISI. Les deux échelles d'insomnie ont été validées comme outils de dépistage clinique de troubles du sommeil, quoique des différences entre les échelles ont été relevées (Chiu, Chang, Hsieh et Tsai, 2016; Chung, K. F., Kan et Yeung, 2011; Jeong *et al.*, 2015; Lin *et al.*, 2020; Morin *et al.*, 2011; Takami *et al.*, 2018).

Pour les services de police A et B, 3 des 26 policières et policiers (11,5 %) et 9 des 50 policières et policiers (18,0 %) rapportent de la somnolence très importante (score d'Epworth ≥ 11), respectivement (tableau 8). Ces pourcentages sont plus faibles que ceux rapportés lors d'une enquête téléphonique menée auprès de 2 449 travailleurs dans la population générale (Drake *et al.*, 2004). Cette enquête a révélé que 33 % des travailleurs de jour, 45 % des travailleurs de nuit et 36% des travailleurs sur horaires rotatifs présentent un score de somnolence d'Epworth de ≥ 10 . Une étude italienne menée auprès de 518 policiers et 93 policières (15,2 %), âgés de 29,7 \pm 5,6 ans (\pm É.T) rapporte un score moyen de somnolence d'Epworth plus faible de 5,85 \pm 3,23 (\pm É.T). Seulement 10% de ces policières et policiers rapportent un score de somnolence ≥ 11 (Garbarino *et al.*, 2002). Une étude menée sur des plateformes pétrolières rapporte un score moyen d'Epworth de 7,30 \pm 3,87 et 6,34 \pm 3,63 chez des travailleurs présentant ou non un trouble d'adaptation du travailleur posté, alors que 9 et 14 % d'entre eux ont un score de somnolence ≥ 11 , respectivement (Waage *et al.*, 2009) La raison qui explique ces différences n'est pas claire et une variabilité importante des scores de somnolence est observée entre les individus et les diverses études.

Entre 15-22 %, 56-73 % et 11-14 % des policières et policiers participant à la présente étude ont rapporté un chronotype du matin, intermédiaire ou du soir, respectivement (tableau 5). En comparaison, dans des études antérieures, 10-17 %, 64-68 % et 20-22 % des travailleurs ont rapporté un chronotype du matin, intermédiaire ou du soir, respectivement (Chung, M. H., Chang, Yang, Kuo et Hsu, 2009; Papantoniou *et al.*, 2014). Ainsi, la proportion de policières et policiers avec un chronotype du soir est inférieure dans la présente étude et cet aspect doit être considéré lorsque nos résultats seront comparés à ceux d'études antérieures.

6.2 Détermination des niveaux de risque

Dans la présente étude, la fatigue a été évaluée plusieurs fois par jour au cours d'un cycle complet de travail par des mesures subjectives et objectives. Les niveaux subjectifs de fatigue ont été mesurés à l'aide d'échelles visuelles analogues de vigilance et d'humeur, d'une échelle de fatigue au travail (Samn et Perelli, 1982) et de l'échelle de somnolence de Karolinska (Akerstedt et Gillberg, 1990; Sallinen, Mikael *et al.*, 2017). Les performances psychomotrices ont été mesurées par une TVP (Dinges et Powell, 1985). Un effort a été déployé pour considérer l'ensemble des données collectées tout au long de cette expérience. Ainsi, une approche par analyse en composantes principales a été utilisée pour produire deux index composés soit un *index composé subjectif de fatigue* et un *index composé objectif de fatigue*. Cette démarche est originale, car elle a permis d'analyser, chez des travailleurs postés étudiés dans leur environnement naturel, l'ensemble des résultats en regard des indicateurs de fatigue. Outre quelques études de laboratoire, très peu de données probantes sont disponibles en milieu de travail sur les risques liés à la fatigue. Une étude sur le risque « d'accidents » sur simulateur de conduite en fonction du score de somnolence de Karolinska (Ingre *et al.*, 2006) a été considérée. Une autre étude qui a comparé les changements de temps de réaction lors d'une tâche de performance psychomotrice produits par la durée cumulée d'éveil à ceux produits par divers niveaux d'alcoolémie a aussi été considérée (Lamond *et al.*, 2004). Bien que la privation de sommeil n'affecte pas la fatigue au même titre que les niveaux d'alcoolémie, cette étude comparative a été considérée, car elle est l'une des plus citées sur le sujet.

Avant de modéliser les niveaux de risque liés à la fatigue, une réflexion a été nécessaire sur l'utilité des facteurs contribuant à la fatigue. En effet, divers aspects doivent simultanément être considérés tels que la valeur statistique et la faisabilité opérationnelle de collecter ces mesures en situation réelle de travail ainsi que les implications morales et éthiques qui y sont associées (par exemple, la protection de la vie privée). Dans le cadre de cette démarche, l'*index composé subjectif de fatigue* a été retenu comme paramètre central de détermination des niveaux de risque alors que l'*index composé objectif de fatigue* a été utilisé à titre comparatif. Des raisons d'ordre scientifique et opérationnel justifient ce choix. D'une part, les variables subjectives de fatigue ont été collectées beaucoup plus fréquemment que les variables objectives de performance (environ 5 fois comparativement à 2 fois par jour, respectivement) de sorte que leur puissance statistique est plus élevée. De plus, tel que rapporté précédemment, l'effet lié à la variabilité interindividuelle est plus grand pour les variables objectives que subjectives de fatigue. À titre d'exemple, lorsqu'on considère le temps d'éveil, l'effet de la variabilité individuelle est 1,4 fois plus grand que l'effet mesuré pour le score de somnolence alors qu'il est 31,3 fois plus grand pour la vitesse de temps de réaction. Enfin, la documentation de données subjectives est plus facile à réaliser en milieu de travail que l'administration de tests de performance. Par le fait même, cette approche a une plus grande valeur écologique, car en condition habituelle de travail, les policières et policiers n'auront généralement pas accès à des tests objectifs de performance psychomotrice. Or, tel que démontré dans le présent rapport, les mesures de fatigue varient de manière significative entre les deux services de police et participants étudiés. Cette observation souligne la variabilité entre les groupes de travailleurs et signifie qu'il sera nécessaire d'adapter cet outil s'il devait être utilisé dans d'autres services ou environnements de travail. Il sera alors important de recueillir des données terrain dans ce nouvel environnement de travail afin d'adapter l'outil découlant de la présente étude. Ainsi, la démarche utilisée dans la détermination des niveaux de risque est cohérente avec l'objectif de maximiser les retombées possibles de l'outil de prédiction de la fatigue. Enfin, les mesures subjectives et objectives de fatigue associées aux divers niveaux de

risque liés à la fatigue sont raisonnables (tableau 20). Ces niveaux tiennent aussi compte des données probantes sur le sujet, ce qui renforce la validité de la démarche utilisée. Les paragraphes suivants résument les résultats en ce qui a trait aux facteurs modulant les risques liés à la fatigue.

6.3 Facteurs clés affectant le niveau de risque lié à la fatigue.

6.3.1 Considérations générales

Plusieurs variables indépendantes, d'ordre personnel et opérationnel, ont été considérées comme étant des facteurs pouvant affecter le niveau de risque lié à la fatigue. Au départ, plus de 13 facteurs personnels et 17 facteurs opérationnels ont été considérés en plus de certaines variables modifiées (tableau 3).

Au niveau scientifique, certains facteurs personnels ont été exclus du modèle final à cause du risque élevé de biais de remémoration si de telles informations devaient être collectées sur le terrain par les partenaires. C'est le cas notamment du sommeil obtenu dans les dernières 48 et 72 heures. Le temps de sommeil des 24 dernières heures et le temps d'éveil précédant le quart de travail ont été conservés, car ces facteurs présentent un risque beaucoup plus faible de biais de remémoration. D'autres facteurs personnels ont été exclus pour des raisons d'acceptabilité concernant la collecte de données confidentielles. Ce fut le cas pour le nombre d'enfants et l'indice de masse corporelle. Bien que des variables personnelles telles que l'âge, le sexe et les années de séniorité soient connues des employeurs, l'intégration de ces variables dans un outil d'estimation des risques liés à la fatigue soulève des craintes de traitement différentiel des travailleuses et travailleurs basés sur ces facteurs. Il a donc été décidé de retirer ces facteurs du modèle final de l'outil de prédiction des risques liés à la fatigue. Pour ce qui est des variables opérationnelles, les facteurs conservés sont faciles à obtenir en milieu de travail. Ils ne soulèvent pas de question éthique, de confidentialité ou de respect de la vie privée.

Tel que rapporté à la section 4.7.3, des variables additionnelles découlant des facteurs modulateurs de la fatigue ont été générées telles que le carré et la racine carrée de certaines variables. L'ajout de ces facteurs transformés a amélioré significativement la modélisation des niveaux de fatigue. La somme des facteurs personnels, opérationnels et individuels retenus contribue de manière importante à la fatigue et explique globalement ~38,6 % de la variance de l'*index composé subjectif de fatigue*, tandis que la variabilité interindividuelle en explique ~4,8 % (section 5.5.3 du rapport).

6.3.2 Horaire de sommeil

Le fait de travailler sur des horaires atypiques affecte inévitablement l'organisation du cycle éveil-sommeil au cours de la journée. Comparativement à leurs journées de repos, les policières et policiers ont dormi moins lors de leurs journées de travail que lors de leurs journées de congé (tableau 11). Ils dorment plus la nuit lors des journées de congé ($7,36 \pm 1,07$ h), que lors des journées de travail de jour ($6,73 \pm 0,89$ h), de soir ($6,46 \pm 1,28$ h) et de nuit ($5,85 \pm 1,11$ h). Lorsqu'ils travaillent de nuit, les policières et policiers doivent pratiquement inverser leur horaire de sommeil. Ces résultats sont cohérents avec les études sur la variation circadienne du sommeil qui indiquent que l'endormissement est plus rapide, mais que la durée du sommeil est réduite lorsque les individus se couchent en fin de nuit plutôt qu'en fin de soirée (Czeisler et Buxton,

2010). Ces résultats sont aussi cohérents avec ceux d'études antérieures qui montrent que les travailleurs obtiennent moins de sommeil entre des quarts de nuit (Fischer *et al.*, 1997; Folkard et Barton, 1993; Ftouni *et al.*, 2013). Par contre, ils diffèrent d'études antérieures qui ont rapporté que les travailleurs postés dorment plus lorsqu'ils travaillent de soir que de jour ou de nuit (Folkard et Barton, 1993; Ftouni *et al.*, 2013) et qu'ils présentent aussi moins de divergences dans leur horaire de sommeil entre leurs journées de travail et de congé (Juda, Vetter et Roenneberg, 2013a, 2013b). Les raisons expliquant ces différences de résultats ne sont pas claires, mais des facteurs tels que le nombre moins élevé de policières et policiers avec un chronotype du soir dans la présente étude et des différences d'horaire de travail peuvent y contribuer. En effet, dans l'étude de Juda *et al.* (2013a, 2013b), les quarts de soir ont terminé à 22:00 comparativement aux quarts de soir de la présente étude qui ont terminé entre 21:00 et 02:00 (00:00 ± 0:08).

Comme les travailleuses et travailleurs sur horaires atypiques dorment souvent par périodes morcelées de sommeil, il est important de considérer l'ensemble du sommeil obtenu au cours de leurs journées. En effet, les études antérieures ont montré qu'il est possible de cumuler plus d'heures de sommeil et d'avoir de meilleures performances en planifiant plus d'épisodes de sommeil (Mollicone, D. J., Van Dongen, Rogers et Dinges, 2008; Mollicone, D. J., Van Dongen et Dinges, 2007). Lorsqu'on regarde le temps total de sommeil (périodes principales + siestes), ce dernier est plus court lors des journées de travail de nuit ($6,38 \pm 0,88$ h) que de soir ($6,64 \pm 1,18$ h) ou de jour ($6,75 \pm 0,89$ h) (tableau 11). Cette durée est supérieure à 6 heures, mais inférieure à celle observée lors des journées de congé ($7,60 \pm 1,10$ h). La proportion des journées avec moins de 6 heures cumulées de sommeil au cours de la journée est plus élevée lors des journées de travail que de congé, particulièrement pour les journées de travail de nuit et de soir, soit $41,6 \pm 35,6$ % et $30,2 \pm 45,2$ %, comparativement à $13,7 \pm 20,4$ % pour les journées de congé (tableau 12). Ainsi, malgré la considération des siestes diurnes, les policières et policiers dorment moins de 6 heures par jour plus souvent, particulièrement lorsqu'ils travaillent de nuit et de soir. Une variabilité importante est observée entre les individus sur le nombre de journées avec moins de 6 heures de sommeil et plus d'études seront nécessaires pour comprendre les facteurs contribuant à ces différences individuelles et comment ces derniers affectent les risques liés à la fatigue au travail.

Comme l'intervalle de temps entre les divers types de quarts n'est pas toujours identique, il est utile de considérer le sommeil cumulé par période de 24 heures (figure 6). Cette analyse montre que le temps total de sommeil est significativement plus élevé lors des journées de congé ($7,83 \pm 0,99$ h) que des journées de travail et qu'il est particulièrement réduit, mais non significativement par rapport aux autres quarts, lors des journées de travail de nuit ($6,44 \pm 0,91$ h). Ainsi, le cumul des périodes de sommeil et de siestes permet aux policières et policiers de cumuler en moyenne plus de 6 heures de sommeil par journée de calendrier pendant leurs journées de travail, et ce, même s'ils travaillent sur des quarts de nuit. La comparaison du sommeil cumulé entre les journées de travail et de congé suggère que les besoins habituels de sommeil ne sont pas comblés lorsque les policières et policiers travaillent. Par contre, il faut souligner qu'un certain biais peut affecter cette comparaison, car il est probable que les policières et policiers dorment plus lors de leurs journées de congé, comme phénomène compensatoire de la restriction de sommeil cumulée lors de leurs journées de travail. Sur la base de la littérature, il demeure difficile de relier cette observation sur la restriction de sommeil à une augmentation précise du risque d'accident. Par contre, il s'agit d'un facteur important qui a été considéré dans la détermination des niveaux de risque de la présente étude.

Selon l'enquête nationale de santé aux États-Unis en 2010, les travailleuses et travailleurs dormant moins de 6 heures par journée présentent un risque d'accidents au travail accru de 86 % comparativement à ceux dormant 7 à 8 heures par jour (Lombardi *et al.*, 2012). Par contre, dans cette étude américaine, la durée de sommeil représente la durée moyenne estimée de sommeil, journées de travail et de congé confondues. On ne peut donc pas transposer directement ces données au risque d'accident de travailler la nuit. D'ailleurs, dans la présente étude, la durée moyenne de sommeil par jour (épisode principal + siestes), est de $7,03 \pm 0,79$ h (journées de transition exclues) ou $6,89 \pm 0,66$ h (journées de transition incluses) toutes journées confondues, soit supérieure à 6 heures. Dans le groupe de 76 policières et policiers étudiés, seulement 7 (journées de transition exclues) ou 8 (journées de transition incluses) d'entre eux dorment moins de 6 heures par nuit. Ces derniers policières et policiers sont comparables à l'ensemble du groupe étudié en termes de leurs scores d'insomnie et de somnolence. Cette observation est surprenante et il pourrait s'agir d'individus ayant un besoin moins élevé de sommeil. Plus d'analyses seront nécessaires pour approfondir ce point.

6.3.3 Périodes d'éveil

Lorsqu'ils se présentent à un quart de jour, les policières et policiers ont été éveillés en moyenne significativement moins longtemps qu'avant un quart de soir ou de nuit (tableau 11). Lorsqu'ils débutent un quart de nuit, ils ont été éveillés significativement plus longtemps qu'avant un quart de jour ou de soir. Une variabilité plus importante est notée entre les individus pour la durée d'éveil précédant les quarts de soir et de nuit, car cette durée est affectée par le fait de prendre des siestes préventives avant ces quarts de travail. En moyenne, les policières et policiers ont tendance à dormir plus lors de siestes précédant leurs quarts de nuit que de soir et de jour. Pour ce qui est des siestes au travail, les policières et policiers n'en prennent pratiquement jamais lors des quarts de jour et de soir, mais en rapportent lors des quarts de nuit ($0,27 \pm 0,55$ h). Une variabilité interindividuelle plus grande est observée dans la prise de siestes au travail lors des quarts de nuit que des quarts de soir ou de jour.

Comme le travail sur horaires atypiques perturbe le sommeil, il est bien connu que plusieurs travailleuses et travailleurs utilisent la sieste pour augmenter leur durée quotidienne de sommeil (Caldwell, Caldwell et Schmidt, 2008; Ficca, Axelsson, Mollicone, Muto et Vitiello, 2010; Lovato et Lack, 2010; Ruggiero et Redeker, 2014; Wesensten, Balkin et Belenky, 2015). Divers comportements de sommeil ont été observés entre des quarts de nuit consécutifs (Åkerstedt, 1998; Tepas, 1982). Certains travailleurs dorment le matin après leurs quarts de travail, d'autres retardent leurs épisodes de sommeil dans l'après-midi tandis que d'autres travailleurs prennent plus d'un épisode de sommeil dans la journée (Åkerstedt, 1998; Chan, Phoon, Gan et Ngui, 1989; Tepas, 1982). Une étude d'une durée de 2 semaines menée auprès de 253 conducteurs de locomotive a révélé que 41 – 50 % des pauses diurnes entre les quarts de nuit comprennent 2 épisodes de sommeil ou plus.

Lorsqu'ils terminent leurs quarts de travail, les policières et policiers de la présente étude ont été éveillés significativement plus longtemps à la fin de leurs quarts de nuit et de soir que de jour ($16,70 \pm 1,47$ h, $15,19 \pm 1,27$ h et $11,01 \pm 0,84$ h, respectivement). Ce constat porte sur la durée d'éveil ajustée pour les siestes (tableau 11 et figure 7). Si on considère la durée *continue* d'éveil depuis le dernier épisode de sommeil (siestes incluses), cette durée est inférieure après les quarts de nuit que de soir ($12,95 \pm 4,28$ h versus $14,69 \pm 1,38$ h). Ainsi, la planification de siestes la nuit interrompt la période continue d'éveil au travail.

En moyenne, les policières et policiers ont passé près de 17 heures éveillés depuis leur dernier épisode principal de sommeil lorsqu'ils terminent leurs quarts de nuit. Bon nombre d'entre eux ($33,2 \pm 21.1 \%$) ont cumulé plus de 17 heures d'éveil depuis leur dernière période principale de sommeil et parfois même 23 heures au cours de la journée. Par contre, cette durée ne représente pas la durée *consécutif* d'éveil qui est interrompue par l'usage de siestes, particulièrement lors des quarts de nuit. Ces observations suggèrent qu'une privation de sommeil plus élevée survient lors des quarts de nuit que des autres quarts et que les risques associés à cette dernière sont partiellement contrôlés par l'usage de siestes au travail.

Des études ont comparé l'effet de la durée d'éveil à celui de l'alcool sur la détérioration des performances. À ce jour, la durée d'éveil qui altère les performances de manière similaire à un niveau d'alcoolémie donné est difficile à établir précisément. Ainsi, la durée estimée d'éveil affectant les performances de manière similaire à un niveau d'alcoolémie de 0,05 g/100 ml degré peut varier de 11 heures à 23 heures d'éveil *continu* selon l'étude et le test utilisé (Arnedt *et al.*, 2001; Lamond et Dawson, 1999). La durée estimée d'éveil peut varier de 21 à ≥ 28 heures pour la comparaison avec un niveau d'alcoolémie de 0,10 g/100 ml. Ainsi, les études comparant l'effet de l'éveil à celui de l'alcool comportent une part d'imprécision importante. De plus, ces études sont menées en laboratoire, dans des conditions susceptibles d'accentuer les baisses de performance comparativement aux études terrain. Enfin, ces conditions ne considèrent pas l'effet de siestes prises lors du quart de travail. Or, il est démontré que la planification de courtes siestes, avant ou pendant un quart de travail de nuit, peut réduire la privation de sommeil et permettre d'accumuler un niveau acceptable de sommeil à chaque journée (Boivin, D. B., 2007, 2010). L'effet bénéfique de siestes nocturnes d'une durée variant entre 20 et 120 minutes a été démontré lors de travail de nuit simulé ou réel, bien que certaines études n'aient pas montré d'effet pour de courtes siestes (Centofanti, Dorrian, Hilditch et Banks, 2017). Les siestes peuvent réduire la somnolence et améliorer les performances (Ruggiero et Redeker, 2014) en permettant entre autres d'augmenter la durée cumulée de sommeil au cours de la journée (Mollicone, D. J. *et al.*, 2008; Mollicone, D. J *et al.*, 2007).

Bien que les résultats des études en laboratoire ne peuvent être transposés sans réserve au contexte réel de travail des policières et policiers, les données obtenues chez les participants de la présente étude suggèrent une restriction de sommeil en fin de quarts de travail de nuit. Or, ce moment coïncide avec leur creux circadien de vigilance, ce qui en fait une zone particulièrement à risque pour la survenue d'incidents et d'accidents reliés à la fatigue. D'ailleurs, la présente étude montre bien que les processus principaux affectant les paramètres de fatigue soient les processus homéostatique et circadien, modulent significativement les variables de fatigue dans le groupe de policières et policiers étudiés. Ainsi la somnolence, fatigue et les baisses de performance augmentent avec la durée d'éveil (figure 9). Ces paramètres varient aussi en fonction de l'heure de la journée avec des valeurs défavorables la nuit comparativement au reste de la journée (figure 10). L'interaction entre ces processus explique les changements des paramètres de fatigue au cours des quarts de travail (figure 8). Ainsi, en début de quarts de jour, la vitesse de réaction et la vigilance sont plus basses alors que la fatigue et la somnolence sont plus élevées qu'en début de quart de soir. Cette observation n'est pas surprenante considérant que ce moment de la journée est à proximité du creux circadien de vigilance.

6.3.4 Charge de travail

Contrairement à notre hypothèse de départ, la charge de travail ne s'est pas avérée un facteur important de prédiction des risques liés à la fatigue. De plus, les valeurs estimées de charge de travail indiquent qu'elle est moindre lors des quarts de nuit alors que les indicateurs de fatigue augmentent.

Plusieurs études transversales ont suggéré que la charge de travail peut contribuer à la fatigue. Dans un sondage auprès de 4 244 policiers suédois, la charge de travail est identifiée comme étant le facteur contribuant le plus à la fatigue (Elgmark Andersson, Larsen et Ramstrand, 2017). Une association semblable est rapportée pour des groupes d'ambulanciers (Paterson, Sofianopoulos et Williams, 2014), d'infirmières (Barker et Nussbaum, 2011) et d'agents de bord (Bedell-Avers, Civil Aerospace Medical Institute et United States. Office of Aerospace Medicine, 2009). Toutefois, cette association n'est pas aussi directe pour les études observationnelles. Chez 20 travailleurs de l'industrie métallurgique, Baulk *et al.* (2007) ont montré que la charge de travail peut augmenter la fatigue et les temps de réaction, bien que ces effets ne soient significatifs que pour certaines journées. Une étude auprès de 90 travailleurs ferroviaires a montré une augmentation du risque de rapporter un niveau de fatigue élevé en fonction de la charge de travail (Dorrian, Baulk et Dawson, 2011). Une étude observationnelle auprès de 40 infirmières rapporte des résultats non conclusifs de l'effet de la charge de travail sur la somnolence (Geiger Brown *et al.*, 2014). Finalement, une revue de littérature systématique récente a cherché à déterminer l'effet d'interventions modifiant la charge de travail sur la fatigue et les risques y étant associés (Studnek *et al.*, 2018). Les auteurs rapportent qu'ils n'ont pas pu estimer cet effet puisque la qualité des études retenues (n=5) était trop faible. Il est possible que notre étude, ainsi que certaines études observationnelles manquent de puissance statistique pour quantifier cet effet. Il est aussi possible que la perception de la charge de travail soit affectée par la fatigue. Il a d'ailleurs été rapporté que, pour une tâche donnée, la privation de sommeil peut augmenter la perception de la charge de travail (Tomasko, Pauli, Kunselman et Haluck, 2012). Une association a aussi été rapportée entre les niveaux de frustration, de performance ou d'effort requis au travail dans les sous-échelles du NASA-TLX et des niveaux plus bas d'humeur (Paterson, Dorrian, Pincombe, Grech et Dawson, 2010). Ces résultats sont cohérents avec l'association observée dans la présente étude entre la frustration au travail et des indicateurs de fatigue (bas niveaux de vigilance et d'humeur et hauts niveaux de fatigue et de somnolence). Par contre ces associations restent faibles et témoignent possiblement de traits individuels dans l'expression des niveaux estimés d'humeur et de fatigue.

Nous rapportons aussi un effet significatif du service de police étudié sur l'index composé de fatigue, ce qui suggère que l'environnement de travail peut affecter des aspects importants du travail tels que la nature, la complexité ou la monotonie des tâches à accomplir.

6.3.5 Horaire de travail

Les valeurs de fatigue restent stables du début à la fin des quarts de jour alors qu'elles se détériorent significativement au cours des quarts de soir. Les valeurs en début de quart de nuit sont comparables à celles observées lors des quarts de jour. Cette observation peut dépendre du fait que les policières et policiers ont été éveillés plus longtemps lorsqu'ils débutent leurs quarts de nuit, soit environ la durée d'un quart de travail. D'ailleurs leurs paramètres de fatigue en début de quarts de nuit sont similaires à ceux observés en fin de quarts de jour et de soir (figure 8). Les

policières et policiers débutent donc leurs quarts de nuit dans un état de fatigue déjà élevé et la situation continue de se détériorer au cours de leurs quarts de nuit. Les valeurs les plus basses de performance et vigilance et les valeurs les plus élevées de fatigue et somnolence sont observées en fin de quarts de nuit. Cette observation n'est pas surprenante considérant que deux processus interagissent pour accroître la fatigue à ce moment. En effet, en fin de quart de nuit, une privation élevée de sommeil survient près du creux circadien de vigilance.

Ces résultats sont cohérents avec les données probantes de la littérature qui montrent une détérioration des performances et un risque accru d'accident la nuit comparativement au jour (Boivin, D. B. et Boudreau, 2014). Entre autres, il a été rapporté qu'il surviendrait 2,77 fois plus d'accidents au travail la nuit que le jour (Swanson *et al.*, 2011). Les performances de conduite sont significativement réduites la nuit comparativement au jour (Gillberg, Kecklund et Åkerstedt, 1996; Hallvig, Anund, Fors, Kecklund et Akerstedt, 2014). Dans plusieurs expériences sur route, il a été montré que la conduite après une nuit de privation de sommeil diminue les performances de conduite et augmente les risques de quasi-accidents (Åkerstedt *et al.*, 2005; Jongen, Perrier, Vuurman, Ramaekers et Vermeeren, 2015; Lee, M. L. *et al.*, 2016). Campbell et Belzer (2000) ont analysé une base américaine de données sur les accidents de camions ayant occasionné un décès entre 1981 et 1996. Cette étude a montré une augmentation en fin de nuit et en début d'après-midi des accidents fatals liés à la fatigue. Cette étude montre aussi une augmentation des accidents fatals liés à la fatigue et impliquant un camionneur en fonction des heures de conduite. Ainsi, le pourcentage d'accidents liés à la fatigue varie selon l'heure de la journée et le nombre d'heures éveillé. Ces facteurs dépendent des processus circadien et homéostatique et sont considérés dans le modèle de prédiction des risques liés à la fatigue de la présente étude.

De manière surprenante, le nombre de quarts de nuit des 7 derniers jours ne ressort pas comme un facteur significatif (tableau 21). Or, le nombre de quarts de nuit est inversement proportionnel à la somme des autres types de journées et cette somme est associée à une réduction significative de l'*index composé subjectif de fatigue*. Ainsi, une augmentation du nombre de quarts de nuit des 7 derniers jours a pour effet indirect d'augmenter les niveaux de risque liés à la fatigue.

En plus de la présence et du nombre de quarts de nuit, l'impact du nombre de quarts de nuit a été considéré. Comme les quarts de nuit sont généralement survenus en série dans le groupe de policières et policiers étudiés, ces quarts sont très souvent consécutifs. Les études disponibles montrent que les déficits associés au premier quart de nuit peuvent s'améliorer progressivement (Bjorvatn *et al.*, 2006; Hansen, Geving et Reinertsen, 2010; Lamond *et al.*, 2003; Santhi *et al.*, 2007), se stabiliser (Crowley *et al.*, 2004), ou se détériorer avec les quarts de nuit subséquents (Axelsson *et al.*, 2008; Boivin, D. B., Boudreau et Tremblay, 2012). Des facteurs, tels que le degré d'adaptation circadienne au travail de nuit, peuvent contribuer aux différences entre les études (Lamond *et al.*, 2004). Une étude a rapporté une amélioration de l'adaptation circadienne et de la vigilance après 7 nuits consécutives chez des travailleurs exposés à de la lumière ordinaire d'intérieur la nuit (Hansen *et al.*, 2010). Une autre étude a montré des niveaux de vigilance et performance supérieurs chez des policières et policiers qui ont présenté un ajustement circadien à la fin de 7 quarts de nuit contrairement aux policières et policiers non ajustés (Boudreau *et al.*, 2013). La présente étude ne reproduit pas ces résultats et montre des valeurs comparables entre les policières et policiers qui présentent ou non un ajustement circadien au travail de nuit (tableau 16). Ces résultats, discordants entre les études, devront être approfondis, mais ils suggèrent que les perturbations du sommeil et de l'éveil ont plus d'impact sur la fatigue des travailleuses et travailleurs que leur degré de désynchronisation circadienne.

D'autres aspects reliés aux conditions de travail peuvent influencer les paramètres de fatigue des policières et policiers étudiés. Ainsi, l'opportunité de prendre une pause repas la nuit ou de prendre une pause repas complète est associée à une diminution de la somnolence. Ces observations pourront faire l'objet de recherches ultérieures sur les comportements alimentaires de travailleuses et travailleurs sur horaires atypiques.

Il est aussi intéressant de regarder la documentation quotidienne faite par les policières et policiers des incidents liés à la fatigue (section 5.4.10). Ces derniers sont plus fréquents pour les quarts de nuit que les autres types de quart. Ils augmentent aussi avec la durée du quart de travail. Ces données sont cohérentes avec celles rapportées par Campbell et Belzer (2000) sur la variation des accidents de camion avec fatalité en fonction de l'heure de la journée et du nombre d'heures éveillé. Dans la présente étude, il n'a pas été possible d'avoir une résolution temporelle très fine, car ces incidents n'ont pas été rapportés précisément au moment de leur survenue.

6.3.6 Variabilité individuelle

Dans la présente étude, les données ont été collectées de manière sérielle chez les mêmes policières et policiers de sorte que les analyses ont pu tenir compte de leur variabilité individuelle. Une variabilité interindividuelle importante est observée dans la relation entre les niveaux de risque et les valeurs de somnolence (tableau 17), de fatigue au travail (tableau 18) et de changements de temps de réaction (tableau 19). Cette variabilité est moins prononcée pour les niveaux faibles de risque dans laquelle la majorité (61,8 %) des données est retrouvée (tableaux 17, 18 et 20). En comparaison, cette variabilité devient plus prononcée pour des niveaux plus élevés de risque liés à la fatigue. Ainsi, plus le niveau de risque estimé par l'outil développé sur la base des prédictions de groupe est élevé, moins cette estimation est fiable sur une base individuelle. Cette observation est cohérente avec les données probantes qui indiquent que l'impact de la privation de sommeil sur les performances cognitives et sur simulateur de vol varie de manière importante entre les individus (Van Dongen, Baynard, Maislin et Dingens, 2004; Van Dongen, Caldwell et Caldwell, 2006).

Malgré l'importance de la variabilité individuelle, la plupart des facteurs personnels ont été abandonnés dans le modèle final d'estimation des risques liés à la fatigue pour les raisons énumérées précédemment. Malgré les préoccupations soulevées, des analyses supplémentaires pourront être réalisées afin d'explorer davantage les facteurs individuels qui affectent la tolérance d'un travailleur à opérer sur des horaires atypiques de travail. Tel que détaillé dans un papier blanc sur le sujet, il est important de poursuivre la recherche sur ces questions (Ritonja, Aronson, Matthews, Boivin et Kantermann, 2019).

6.3.7 Ajustement circadien

La détermination de la phase circadienne est un processus complexe qui requiert la collecte de multiples échantillons biologiques et leur analyse ultérieure. Cette détermination a été faite de manière intermittente, environ aux semaines, soit entre 4 - 5 fois pendant tout le cycle de travail des participants. Cela a nécessité la collecte d'échantillons urinaires pendant environ 32 heures consécutives lors de journées de congé. En ambulatoire, les échantillons collectés sont soumis à de nombreux perturbateurs qui en masquent l'expression. Les études menées sur le terrain souffrent donc de beaucoup plus de biais expérimentaux que les études contrôlées en laboratoire

d'isolation temporelle. Malgré leurs limites expérimentales, les études terrain ont une plus grande valeur écologique, car elles permettent de clarifier le pourcentage des travailleuses et travailleurs qui ont un ajustement circadien au travail de nuit. La collecte d'échantillons urinaires permet plus facilement de collecter des données pendant 24 heures (contrairement à la collecte d'échantillons de salive limitée aux périodes d'éveil). Par contre, la discrimination temporelle est moindre, car les participants ne peuvent uriner aussi souvent qu'ils peuvent fournir des échantillons de salive.

Dans la présente étude, l'acrophase (c.-à-d le moment de survenue des valeurs maximales) a été estimée sur la base du point milieu d'excrétion urinaire de 6-sulfatoxy-mélatonine et de cortisol (annexe B). Cette méthode a été utilisée précédemment pour déterminer la phase de la 6-sulfatoxy-mélatonine urinaire (Klerman, Gershengorn, Duffy et Kronauer, 2002), mais pas pour celle du cortisol urinaire. D'autres méthodes d'analyse telles que des régressions harmoniques ont été utilisées pour le cortisol urinaire, généralement lorsque des échantillons ont été collectés en laboratoire à intervalles réguliers (Kripke *et al.*, 2005; Whitson, Putcha, Chen et Baker, 1995). Cette approche n'a pas été fructueuse dans la présente étude terrain de sorte que les échantillons urinaires ont été analysés par la détection du point milieu. Cette approche est adéquate considérant que les résultats de la présente étude sont cohérents avec les données rapportées pour d'autres groupes de travailleuses et travailleurs. Ainsi, une étude antérieure a quantifié le rythme circadien de mélatonine et cortisol salivaires chez 35 agents de bord avant un vol. En moyenne, l'acrophase de mélatonine a été observée à 03:03 (entre 02:27-03:35) et l'acrophase de cortisol à 09:08 (entre 07:49-10:35) (Harma, Laitinen, Partinen et Suvanto, 1994). Une étude terrain menée auprès de 8 astronautes a montré une phase de 6-sulfatoxy-mélatonine et cortisol urinaires à 03:20 ± 0:55 et 08:11 ± 0:45, respectivement (Whitson *et al.*, 1995). Plus récemment, une étude de laboratoire chez 25 adultes de 19-40 ans a montré une phase circadienne de 6-sulfatoxy-mélatonine et cortisol urinaires à 04:06 ± 1:25 et 11:28 ± 2:00, respectivement (Kripke *et al.*, 2005). Ainsi, les phases de 6-sulfatoxy-mélatonine et cortisol urinaires observées dans la présente étude sont comparables avec ces études. Une plus grande variabilité est observée entre les études sur la phase de cortisol que de 6-sulfatoxy-mélatonine urinaires. Considérant les limites de résolution temporelle découlant des collectes urinaires, nos résultats (figures 11 et 12 et tableau 15) sont cohérents avec les études antérieures.

La présente étude permet aussi de comparer les évaluations circadiennes de participants à plusieurs reprises tout au cours de leur cycle de travail. Dans le groupe étudié, le point milieu de la courbe d'excrétion urinaire de cortisol est observé en avant-midi et est comparable entre les différentes phases de l'étude (figure 11 et tableau 15). Le point milieu de la courbe d'excrétion urinaire de 6-sulfatoxy-mélatonine est observé au milieu de la nuit tout au cours des différentes phases de l'étude (figure 12 et tableau 15). Les analyses portant sur l'effet des quarts de nuit ont révélé un délai de phase d'environ 1h30 de la phase circadienne de 6-sulfatoxy-mélatonine urinaire après une série de 3-7 quarts de nuit. Après une série de 3 à 13 congés suivant ces derniers, cette phase est retournée à sa position initiale précédant les quarts de nuit (figure 12 et tableau 15). Considérant les limites de résolution temporelle découlant des collectes urinaires, ces résultats devront être confirmés par d'autres études. Tel qu'illustré dans les figures 11 et 12, une variabilité importante du point milieu des courbes d'excrétion urinaire de cortisol et de 6-sulfatoxy-mélatonine est observée entre les participants. Cette variabilité est plus prononcée après une série de quarts de nuit qu'à d'autres journées de l'horaire de travail. Cet aspect souligne les différences individuelles quant à l'adaptation circadienne au travail de nuit.

Des études antérieures suggèrent que le degré d'adaptation circadienne au travail de nuit dépend de l'horaire et de la quantité d'exposition à la lumière (Boivin, D. B. et James, 2002a; Stone *et al.*, 2018). Une étude menée dans des environnements de faible luminosité ne rapporte qu'un minime délai de phase circadienne d'environ 30 minutes après plusieurs quarts de nuit chez 29 travailleurs miniers (Ferguson, Kennaway, Baker, Lamond et Dawson, 2012). Cette dernière étude a montré une détérioration des performances à partir de la troisième nuit consécutive de travail. Une autre étude chez des membres d'équipe de navire exposés à de la lumière ordinaire d'intérieur a montré une adaptation circadienne de la 6-sulfatoxy-mélatonine et amélioration des niveaux de vigilance après 7 quarts de nuit (Hansen *et al.*, 2010). Par contre, une variabilité importante existe entre les individus quant à leur degré d'ajustement circadien au travail de nuit et peu d'études terrain sont disponibles sur la question.

Il a été initialement rapporté qu'une adaptation complète de l'oscillateur circadien au travail de nuit ne survient que chez une minorité ($\leq 3\%$) de travailleurs même s'ils travaillent sur des horaires fixes de nuit (Folkard, 2008). Cette dernière étude a rapporté un ajustement partiel au travail de nuit chez 23,7 % des travailleurs alors que la majorité d'entre eux ($\geq 72\%$) ne présente aucune adaptation circadienne. Notre étude financée par l'IRSST (Boivin, D. B. *et al.*, 2010) a montré une adaptation circadienne chez 7 policières et policiers sur 17 (41,2 %) après 7 quarts consécutifs de travail de nuit (Boivin, D. B. *et al.*, 2010; Boudreau *et al.*, 2013). Dans cette dernière étude, les policières et policiers adaptés étaient exposés à significativement plus de lumière la nuit comparativement aux non adaptés. Dans la présente étude, 16 sur 68 policières et policiers (23,5 %) ont présenté une adaptation de leur phase circadienne de 6-sulfatoxy-mélatonine urinaire au travail de nuit. Cette prévalence d'adaptation circadienne est comparable au taux d'adaptation circadienne partielle rapportée précédemment (Folkard, 2008). Dans la présente étude, les policières et policiers adaptés ont été moins exposés à la lumière le matin que les policières et policiers non adaptés, mais cette différence n'est pas significative (figure 13). De plus, la somnolence, fatigue, vigilance, humeur et vitesse de réaction sont comparables lors des quarts de nuit entre les policières et policiers qui présentent une adaptation circadienne au travail de nuit et ceux qui n'en présentent pas. Ces résultats diffèrent de ceux d'une étude antérieure menée auprès d'un petit groupe de policières et policiers (Boudreau *et al.*, 2013). La raison de ces divergences reste à clarifier, mais ces données suggèrent que les perturbations du cycle éveil-sommeil pourraient être plus déterminantes que celles liées à la désynchronisation circadienne.

Malgré le rôle présumé de la composante circadienne dans les troubles d'ajustement aux horaires atypiques de travail, il est, pour le moment, difficile d'intégrer cet aspect dans la production d'un outil de prédiction des risques liés à la fatigue. En effet, il aurait fallu déterminer quotidiennement la phase circadienne afin d'en évaluer l'impact sur les niveaux quotidiens de risque liés à la fatigue. Malheureusement, la phase circadienne est difficile à quantifier et est évaluée de manière intermittente, hebdomadaire tout au plus. Il ne s'agit pas, non plus, d'un paramètre qui est facilement accessible en milieu de travail. Le développement de biomarqueurs circadiens fiables, faciles et rapides à obtenir est en pleine effervescence dans la communauté de recherche en chronobiologie humaine. L'accessibilité à de tels biomarqueurs représenterait une avancée scientifique considérable qui permettrait d'envisager des solutions plus ciblées aux troubles d'adaptation aux horaires atypiques de travail. Dans la présente étude, la variabilité des mesures de fatigue est analysée en fonction de l'heure de la journée et non de la phase circadienne précise. Malgré cette limite, des facteurs opérationnels tels que les heures travaillées de nuit

ciblent, de manière indirecte, l'aspect de la désynchronisation circadienne sur les niveaux de risque liés à la fatigue.

6.4 Portée et applicabilité des résultats

La présente étude a permis l'élaboration d'un outil simple de prédiction des risques liés à la fatigue qui est basé sur l'entrée d'informations reliées à l'horaire de travail et de sommeil des travailleuses et travailleurs. Elle démontre que ces risques sont modulés en milieu naturel de travail par les processus homéostatique et circadien. Ce modèle a l'originalité d'être entièrement basé sur des données de travailleurs postés et combine divers indicateurs de fatigue dans un *index composé subjectif* de fatigue. Il confirme, directement en milieu de travail, le modèle à deux processus régulant le sommeil proposé par Borbely (1982) il y a près de 40 ans sur la base d'études en laboratoire. Selon une analogie avec les feux de circulation, les risques liés à la fatigue sont regroupés en catégories selon un niveau de risque faible (vert), modéré (jaune), élevé (rouge) et très élevé (rouge foncé). Ces niveaux de risque sont cohérents entre les diverses mesures de fatigue, à savoir les scores de somnolence de Karolinska, de fatigue au travail de Samn-Perelli et d'augmentation de temps de réaction à la TVP. Ils tiennent aussi compte des données probantes disponibles sur le sujet. L'outil d'estimation des risques liés à la fatigue est donc basé sur des données probantes pour ce groupe précis de travailleurs.

Divers modèles biomathématiques ont été développés pour prédire les niveaux de fatigue au travail (Dawson *et al.*, 2011; Dinges, 2004; Mallis *et al.*, 2004; Reifman *et al.*, 2016). Certains modèles ajoutent une composante pour tenir compte de l'inertie du sommeil faisant suite à une sieste ou période de sommeil (Akerstedt *et al.*, 2004; Hursh *et al.*, 2004; Jewett et Kronauer, 1999). Les modèles actuels prédisent bien l'effet de la privation totale de sommeil, mais ils présentent aussi plusieurs limites et globalement, ils ont peu été validés en milieu naturel de travail. La présente étude est originale, car elle repose entièrement sur des évaluations en milieu naturel de travail auprès d'un large groupe de policières et policiers étudiés individuellement pendant un cycle complet de travail. De plus, elle tient compte de la variabilité entre les individus en suivant chaque travailleur à travers un cycle complet de travail d'un mois. Au lieu de reposer sur un nombre limité de variables de fatigue, elle combine des évaluations subjectives de fatigue et objectives de performance et utilise une approche globale d'analyse de ces variables.

L'outil d'estimation des risques liés à la fatigue découlant de la présente étude est simple d'utilisation et permet d'explorer l'impact de différents horaires de travail et l'effet de ces horaires chez différents travailleuses et travailleurs et dans divers milieux de travail. Cet outil peut être utilisé pour évaluer les niveaux moyens de fatigue d'un groupe visé de travailleuses et travailleurs sur leur horaire habituel (figure 19) ou sur un horaire modifié (figure 20). Il peut aussi permettre d'évaluer les risques estimés chez chaque individu ayant participé à la collecte de données (figure 21). Ainsi, cet outil peut être adapté à divers environnements de travail ou à des travailleuses et travailleurs qui sont obligés d'opérer à l'extérieur des heures conventionnelles de jour. Des différences significatives ont été observées entre les deux services de police étudiés. Cette observation implique que des collectes de données terrain doivent obligatoirement être effectuées dans de nouveaux environnements de travail si un tel outil devait y être adapté.

6.5 Limites

Une des limites des modèles de prédiction des risques liés à la fatigue est d'utiliser l'horaire de sommeil du travailleur comme paramètre d'entrée, ce qui est souvent problématique d'un point de vue opérationnel et de protection de données confidentielles liées à la vie privée des travailleurs. Certains chercheurs suggèrent de prédire le cycle éveil-sommeil à partir de l'horaire de travail, mais l'efficacité de telles techniques reste à valider (Dawson *et al.*, 2011; Kandelaars *et al.*, 2006). Les modèles biomathématiques actuels considèrent presque uniquement des variables biologiques et ces modèles ne considèrent pas l'influence de l'environnement social et familial qui est pourtant importante. D'ailleurs, la présente étude a démontré des différences significatives entre les deux services de police étudiés. Elle a aussi montré que des facteurs opérationnels, tel que la disponibilité de pauses repas peut significativement affecter les paramètres de fatigue. Ces observations indiquent que des facteurs non physiologiques doivent aussi être considérés dans l'évaluation de la fatigue au travail. De plus, nous n'avons pas procédé à l'étude détaillée des tâches de chacun des quarts de travail. Ces tâches varient possiblement en fonction de l'heure de la journée ou du quart de travail puisque nous observons une diminution significative de la charge de travail estimée la nuit. Bien que la population étudiée soit comparable à la population ciblée en termes d'âge et de sexe, il est possible que les participants s'étant portés volontaires soient plus concernés par leur fatigue au travail, par exemple, en raison de facteurs personnels ou organisationnels, mesurés ou non.

Les études disponibles sur la relation entre le risque d'accident et des mesures de fatigue sont limitées. Les deux études considérées pour la détermination des niveaux de risque dans la présente étude sont celles d'Ingre *et al.* (2006) pour les mesures de somnolence et celle de Lamond *et al.* (2004) pour les mesures de performance. Ces deux études sont de petite taille et sont menées en laboratoire. Or, les changements observés en laboratoire ne peuvent pas être directement transposés à des conditions réelles de travail. De plus, les participants à ces études sont de jeunes hommes et femmes adultes en santé (Ingre *et al.*, 2006 : 5 hommes et 5 femmes de 37 ± 12 ans; Lamond *et al.*, 2004 : 7 hommes et 8 femmes de 18-27 ans), ce qui n'est pas représentatif du groupe de policières et policiers étudiés. Malgré ces limites, la considération d'études antérieures a été utile dans la démarche de détermination des niveaux de risque liés à la fatigue. Bien que cette démarche se soit voulue la plus systématique possible, les valeurs retenues de l'*index subjectif composé de fatigue* pour les divers niveaux de risque découlent d'un processus arbitraire au cours duquel divers éléments ont dû simultanément être considérés. De plus, cet exercice est basé sur des estimations de groupe alors que la variabilité interindividuelle des résultats demeure importante. Cet outil ne devrait donc pas être considéré comme un outil précis de détermination des risques individuels, mais plutôt comme une aide opérationnelle à la prise de décision.

Tel qu'élaboré en introduction, plusieurs études ont montré que la fatigue cause des déficits cognitifs lors de tâches simples et complexes, incluant la TVP (Boardman *et al.*, 2018; Ganesan *et al.*, 2019; Maltese *et al.*, 2016; Van Dongen *et al.*, 2003). La TVP est une tâche simple qui mesure la capacité d'une personne à soutenir son attention sur la tâche donnée tout en restant vigilant. Elle peut être utilisée de façon répétée puisqu'elle est très peu affectée par un effet d'apprentissage. La TVP est toutefois une mesure incomplète des fonctions cognitives et n'évalue pas les fonctions plus complexes d'un individu, importantes pour les performances au travail. De plus, le type de tâches cognitives étant le plus influencées par la fatigue varie d'une personne à l'autre (Van Dongen, Baynard, *et al.*, 2004). Considérant le développement technologique de

diverses applications sur téléphone intelligent, il nous sera possible d'appliquer une approche plus sophistiquée dans le futur.

La relation entre divers niveaux de fatigue et la survenue d'incidents ou d'accidents au travail n'est pas précisément connue. Comme le suggèrent Folkard et Akerstedt (2004), la fatigue est influencée par le contexte et les tâches de sorte que le lien entre fatigue et accident est souvent complexe et demande l'intégration de nombreux paramètres qui ne sont pas couramment mesurés. Nous avons résumé les divers facteurs pouvant affecter cette relation dans un schéma intégratif (figure 22). Entre autres, la présente étude a permis de faire la démonstration, en conditions de travail réelles, d'un lien entre des quarts de nuit ou des quarts prolongés (> 12 heures) et un risque significativement accru d'incidents liés à la fatigue. Dans ces conditions, les policières et policiers ont rapporté plus souvent avoir « cogné des clous » et avoir involontairement contrevenu au code de la sécurité routière.

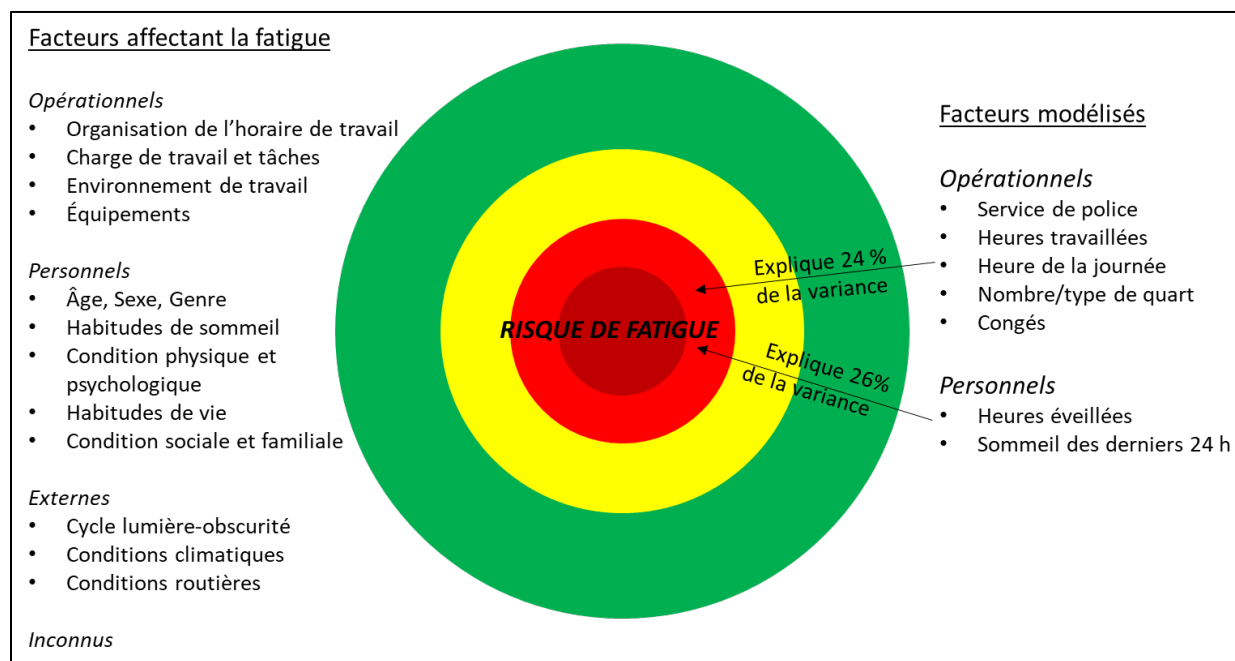


Figure 22. Facteurs affectant la fatigue. La colonne de gauche représente divers facteurs pouvant affecter la fatigue au travail. La colonne de droite représente les facteurs retenus dans notre modèle prédictif des risques liés à la fatigue et le pourcentage de la variance expliquée par ces derniers. Le pourcentage de variance expliquée par ces derniers. Ce pourcentage est calculé lorsque ces facteurs sont considérés isolément (section 5.3.3). Les zones colorées représentent un niveau de risque faible (vert), modéré (jaune) élevé (rouge) et très élevé (rouge foncé) et l'aire de ces surfaces correspond à leur proportion respective (figure 16).

7. CONCLUSION

La présente étude a permis de développer un outil pratique de prédiction des risques liés à la fatigue pour des policières et policiers patrouilleurs travaillant sur horaires rotatifs. Cet outil est simple d'utilisation et est basé sur l'entrée d'informations portant sur l'horaire de travail et de sommeil des policières et policiers. Cet outil permet d'explorer l'impact de différents horaires de travail et l'effet de ces horaires sur les risques liés à la fatigue pour les policières et policiers qui ont participé à l'étude. Cet outil représente la base scientifique d'un système de gestion des risques liés à la fatigue au travail. Il peut être adapté à diverses compagnies, organisations et leurs équipes de travail qui doivent opérer sur des horaires atypiques de travail. La variabilité des estimés entre les services de police étudiés démontre toutefois qu'il sera important de collecter des données additionnelles dans de nouveaux environnements de travail si cet outil devait y être utilisé.

Comme retombées éventuelles, il est escompté que les partenaires à cette étude utiliseront cet outil pour élaborer une grille de gestion des risques liés à la fatigue et une politique interne de gestion de ces risques. Dre Boivin et son équipe resteront impliqués dans les étapes futures de cette initiative scientifique et pourront assister d'autres organisations désireuses d'adapter cet outil afin de mieux gérer la fatigue au sein de leurs membres.

En outre, des différences importantes sont observées dans les niveaux de risque liés à la fatigue entre les individus. Il est prévu explorer davantage la base de données recueillies dans la présente étude afin de mieux cerner les facteurs contribuant à ces différences individuelles et les manières d'adapter l'outil de prédiction des risques en regard de ces différences.

La présente étude a également donné lieu à un projet satellite visant à mieux cerner les comportements alimentaires des travailleuses et travailleurs sur horaires rotatifs (Kosmadopoulos *et al.*, 2020). Or, les perturbations du cycle éveil-sommeil peuvent affecter le métabolisme des travailleuses et travailleurs sur horaires rotatifs qui montrent une prévalence accrue de troubles métaboliques comparativement aux travailleuses et travailleurs de jour. Il est donc important de poursuivre ces recherches.

Enfin, les informations dégagées dans la présente étude pourront être intégrées dans des programmes de formation en milieu de travail sur la gestion de la fatigue. Dre Boivin et son équipe sont disponibles pour en discuter avec les organisations désireuses de mieux former leurs membres à la problématique de la fatigue au travail.

BIBLIOGRAPHIE

- Achermann, P. et Borbély, A. A. (2011). Sleep homeostasis and models of sleep regulation. Dans M. H. Kryger, T. Roth et W. C. Dement (Édit.), *Principles and practice of sleep medicine*. (5^e éd., p. 431-444). Philadelphia, PA: Elsevier.
- Akerstedt, T. (2019). Shift work: Sleepiness and sleep in transport. *Sleep Medicine Clinics*, 14(4), 413-421. doi: 10.1016/j.jsmc.2019.07.003
- Åkerstedt, T. (1998). Is there an optimal sleep-wake pattern in shift work? *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 24(S3), 18-27.
- Akerstedt, T., Folkard, S. et Portin, C. (2004). Predictions from the three-process model of alertness. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 75(S1), A75-83.
- Akerstedt, T. et Gillberg, M. (1990). Subjective and objective sleepiness in the active individual. *International Journal of Neuroscience*, 52(1-2), 29-37. doi: 10.3109/00207459008994241
- Akerstedt, T. et Kecklund, G. (2017). What work schedule characteristics constitute a problem to the individual?: A representative study of Swedish shift workers. *Applied Ergonomics*, 59(A), 320-325. doi: 10.1016/j.apergo.2016.09.007
- Akerstedt, T., Peters, B., Anund, A. et Kecklund, G. (2005). Impaired alertness and performance driving home from the night shift: A driving simulator study. *Journal of Sleep Research*, 14(1), 17-20. doi: 10.1111/j.1365-2869.2004.00437.x
- Akerstedt, T. et Wright, K. P. (2009). Sleep loss and fatigue in shift work and shift work disorder. *Sleep Medicine Clinics*, 4(2), 257-271. doi: 10.1016/j.jsmc.2009.03.001
- Anderson, C., Ftouni, S., Ronda, J. M., Rajaratnam, S. M. W., Czeisler, C. A. et Lockley, S. W. (2018). Self-reported drowsiness and safety outcomes while driving after an extended duration work shift in trainee physicians. *Sleep*, 41(2). doi: 10.1093/sleep/zsx195
- Arendt, J. (2010). Shift work: Coping with the biological clock. *Occupational Medicine*, 60(1), 10-20. doi: 10.1093/occmed/kqp162
- Arnedt, J. T., Owens, J., Crouch, M., Stahl, J. et Carskadon, M. A. (2005). Neurobehavioral performance of residents after heavy night call vs after alcohol ingestion. *JAMA*, 294(9), 1025-1033. doi: 10.1001/jama.294.9.1025
- Arnedt, J. T., Wilde, G. J., Munt, P. W. et MacLean, A. W. (2001). How do prolonged wakefulness and alcohol compare in the decrements they produce on a simulated driving task? *Accident Analysis & Prevention*, 33(3), 337-344. doi: 10.1016/s0001-4575(00)00047-6
- Axelsson, J., Kecklund, G., Akerstedt, T., Donofrio, P., Lekander, M. et Ingre, M. (2008). Sleepiness and performance in response to repeated sleep restriction and subsequent recovery during semi-laboratory conditions. *Chronobiology International*, 25(2), 297-308. doi: 10.1080/07420520802107031
- Barger, L. K., Cade, B. E., Ayas, N. T., Cronin, J. W., Rosner, B., Speizer, F. E., . . . Safety, G. (2005). Extended work shifts and the risk of motor vehicle crashes among interns. *New England Journal of Medicine*, 352(2), 125-134. doi: 10.1056/NEJMoa041401
- Barker, L. M. et Nussbaum, M. A. (2011). Fatigue, performance and the work environment: A survey of registered nurses. *Journal of Advanced Nursing*, 67(6), 1370-1382. doi: 10.1111/j.1365-2648.2010.05597.x
- Bastien, C. H., Vallieres, A. et Morin, C. M. (2001). Validation of the insomnia severity index as an outcome measure for insomnia research. *Sleep Medicine*, 2(4), 297-307. doi: 10.1016/s1389-9457(00)00065-4

- Baulk, S. D., Kandelaars, K. J., Lamond, N., Roach, G. D., Dawson, D. et Fletcher, A. (2007). Does variation in workload affect fatigue in a regular 12-hour shift system? *Sleep and Biological Rhythms*, 5(1), 74-77. doi: 10.1111/j.1479-8425.2006.00249.x
- Bedell-Avers, K. E., Civil Aerospace Medical Institute et United States Office of Aerospace Medicine. (2009). *Flight attendant fatigue: Part I: National duty, rest, and fatigue survey*. Tiré de https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/2000s/media/200924.pdf
- Belyavin, A. J. et Spencer, M. B. (2004). Modeling performance and alertness: The QinetiQ approach. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 75(3), A93-103.
- Bioulac, S., Micoulaud-Franchi, J. A., Arnaud, M., Sagaspe, P., Moore, N., Salvo, F. et Philip, P. (2017). Risk of motor vehicle accidents related to sleepiness at the wheel: A systematic review and meta-analysis. *Sleep*, 40(10). doi: 10.1093/sleep/zsx134
- Bjorvatn, B., Stangenes, K., Oyane, N., Forberg, K., Lowden, A., Holsten, F. et Akerstedt, T. (2006). Subjective and objective measures of adaptation and readaptation to night work on an oil rig in the North Sea. *Sleep*, 29(6), 821-829. doi: 10.1093/sleep/29.6.821
- Boardman, J. M., Bei, B., Mellor, A., Anderson, C., Sletten, T. L. et Drummond, S. P. A. (2018). The ability to self-monitor cognitive performance during 60 h total sleep deprivation and following 2 nights recovery sleep. *Journal of Sleep Research*, 27(4), e12633. doi: 10.1111/jsr.12633
- Boivin, D. B. (2000). *Best practices compendium of fatigue countermeasures in transport operations* (Rapport n° TP 13620E). Montreal, QC: Transportation Development Center.
- Boivin, D. B. (2007). The circadian perspective in medicine. *Sleep Medicine*, 8(6), 545-546. doi: 10.1016/j.sleep.2007.04.002
- Boivin, D. B. (2010). Comment réduire les effets négatifs du travail de nuit sur la santé et la performance? *Gestion*, 35(3), 47-52.
- Boivin, D. B. et Boudreau, P. (2014). Impacts of shift work on sleep and circadian rhythms. *Pathologie Biologie*, 62(5), 292-301. doi: 10.1016/j.patbio.2014.08.001
- Boivin, D. B., Boudreau, P., James, F. O. et Kin, N. M. (2012). Photic resetting in night-shift work: Impact on nurses' sleep. *Chronobiology International*, 29(5), 619-628. doi: 10.3109/07420528.2012.675257
- Boivin, D. B., Boudreau, P. et Tremblay, G. M. (2012). Phototherapy and orange-tinted goggles for night-shift adaptation of police officers on patrol. *Chronobiology International*, 29(5), 629-640. doi: 10.3109/07420528.2012.675252
- Boivin, D. B. et James, F. O. (2002a). Circadian adaptation to night-shift work by judicious light and darkness exposure. *Journal of Biological Rhythms*, 17(6), 556-567. doi: 10.1177/0748730402238238
- Boivin, D. B. et James, F. O. (2002b). *Prévention par la photothérapie des troubles d'adaptation au travail de nuit : études et recherches* (Rapport n° R-296). Montréal, QC: IRSST.
- Boivin, D. B., Tremblay, G. M. et Boudreau, P. (2010). *Les horaires rotatifs chez les policiers : étude des approches préventives complémentaires de réduction de la fatigue* (Rapport n° R-659). Montréal, QC: IRSST.
- Booker, L. A., Barnes, M., Alvaro, P., Collins, A., Chai-Coetzer, C. L., McMahon, M., . . . Sletten, T. L. (2020). The role of sleep hygiene in the risk of shift work disorder in nurses. *Sleep*, 43(2). doi: 10.1093/sleep/zsz228
- Borbely, A. A. (1982). A two process model of sleep regulation. *Human Neurobiology*, 1(3), 195-204.

- Boudreau, P., Dumont, G. A. et Boivin, D. B. (2013). Circadian adaptation to night shift work influences sleep, performance, mood and the autonomic modulation of the heart. *PLoS One*, 8(7), e70813. doi: 10.1371/journal.pone.0070813
- Caldwell, J. A., Caldwell, J. L. et Schmidt, R. M. (2008). Alertness management strategies for operational contexts. *Sleep Medicine Reviews*, 12(4), 257-273. doi: 10.1016/j.smrv.2008.01.002
- Campbell, K. L. et Belzer, M. H. (2000). Hours of service regulatory evaluation analytical support: Task 1: Baseline risk estimates and carrier experience: Final report: Task 6: Engineering, analytic and research support for motor carrier safety activities. Tiré de <https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/1319/93357.0001.001.pdf?isAllowed=y&sequence=2>
- Centofanti, S. A., Dorrian, J., Hilditch, C. J. et Banks, S. (2017). Do night naps impact driving performance and daytime recovery sleep? *Accident Analysis & Prevention*, 99(B), 416-421. doi: 10.1016/j.aap.2015.11.009
- Cermakian, N. et Boivin, D. B. (2003). A molecular perspective of human circadian rhythm disorders. *Brain Research Review*, 42(3), 204-220. doi: 10.1016/s0165-0173(03)00171-1
- Chan, O. Y., Phoon, W. H., Gan, S. L. et Ngui, S. J. (1989). Sleep-wake patterns and subjective sleep quality of day and night workers: Interaction between napping and main sleep episodes. *Sleep*, 12(5), 439-448.
- Chiu, H. Y., Chang, L. Y., Hsieh, Y. J. et Tsai, P. S. (2016). A meta-analysis of diagnostic accuracy of three screening tools for insomnia. *Journal of Psychosomatic Research*, 87 85-92. doi: 10.1016/j.jpsychores.2016.06.010
- Chua, E. C., Tan, W. Q., Yeo, S. C., Lau, P., Lee, I., Mien, I. H., . . . Gooley, J. J. (2012). Heart rate variability can be used to estimate sleepiness-related decrements in psychomotor vigilance during total sleep deprivation. *Sleep*, 35(3), 325-334. doi: 10.5665/sleep.1688
- Chung, K. F., Kan, K. K. et Yeung, W. F. (2011). Assessing insomnia in adolescents: Comparison of insomnia severity index, Athens insomnia scale and sleep quality index. *Sleep Medicine*, 12(5), 463-470. doi: 10.1016/j.sleep.2010.09.019
- Chung, M. H., Chang, F. M., Yang, C. C., Kuo, T. B. et Hsu, N. (2009). Sleep quality and morningness-eveningness of shift nurses. *Journal of Clinical Nursing*, 18(2), 279-284. doi: 10.1111/j.1365-2702.2007.02160.x
- Cohen, D. A., Wang, W., Klerman, E. B. et Rajaratnam, S. M. (2010). Ramelteon prior to a short evening nap impairs neurobehavioral performance for up to 12 hours after awakening. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 6(6), 565-571.
- Crowley, S. J., Lee, C., Tseng, C. Y., Fogg, L. F. et Eastman, C. I. (2004). Complete or partial circadian re-entrainment improves performance, alertness, and mood during night-shift work. *Sleep*, 27(6), 1077-1087. doi: 10.1093/sleep/27.6.1077
- Czeisler, C. A. et Buxton, O. M. (2010). The human circadian timing system and sleep-wake regulation. Dans M. Kryger, T. Roth et W. C. Dement (Édit.), *Principles and practice of sleep medicine* (5^e éd., p. 402-419). Philadelphie, PA: Elsevier.
- Czeisler, C. A., Walsh, J. K., Roth, T., Hughes, R. J., Wright, K. P., Kingsbury, L., . . . Group, U. S. M. i. S. W. S. D. S. (2005). Modafinil for excessive sleepiness associated with shift-work sleep disorder. *New England Journal of Medicine*, 353(5), 476-486. doi: 10.1056/NEJMoa041292
- d'Errico, A. et Costa, G. (2012). Socio-demographic and work-related risk factors for medium- and long-term sickness absence among Italian workers. *European Journal of Public Health*, 22(5), 683-688. doi: 10.1093/eurpub/ckr140

- Davidson, A. J., Castanon-Cervantes, O., Leise, T. L., Molyneux, P. C. et Harrington, M. E. (2009). Visualizing jet lag in the mouse suprachiasmatic nucleus and peripheral circadian timing system. *European Journal of Neuroscience*, 29(1), 171-180. doi: 10.1111/j.1460-9568.2008.06534.x
- Dawson, D., Chapman, J. et Thomas, M. J. (2012). Fatigue-proofing: A new approach to reducing fatigue-related risk using the principles of error management. *Sleep Medicine Reviews*, 16(2), 167-175. doi: 10.1016/j.smrv.2011.05.004
- Dawson, D., Ian Noy, Y., Harma, M., Akerstedt, T. et Belenky, G. (2011). Modelling fatigue and the use of fatigue models in work settings. *Accident Analysis & Prevention*, 43(2), 549-564. doi: 10.1016/j.aap.2009.12.030
- Dawson, D. et Reid, K. (1997). Fatigue, alcohol and performance impairment. *Nature*, 388(6639), 235. doi: 10.1038/40775
- de Pinho, R. S., da Silva, F. P., Bastos, J. P., Maia, W. S., de Mello, M. T., de Bruin, V. M. et de Bruin, P. F. (2006). Hypersomnolence and accidents in truck drivers: A cross-sectional study. *Chronobiology International*, 23(5), 963-971. doi: 10.1080/07420520600920759
- Di Milia, L., Rogers, N. L. et Akerstedt, T. (2012). Sleepiness, long distance commuting and night work as predictors of driving performance. *PLoS One*, 7(9), e45856. doi: 10.1371/journal.pone.0045856
- Dinges, D. F. (2004). Critical research issues in development of biomathematical models of fatigue and performance. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 75(S3), A181-191.
- Dinges, D. F. et Powell, J. W. (1985). Microcomputer analyses of performance on a portable, simple visual RT task during sustained operations. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 17(6), 652-655.
- Dorrian, J., Baulk, S. D. et Dawson, D. (2011). Work hours, workload, sleep and fatigue in Australian rail industry employees. *Applied Ergonomics*, 42(2), 202-209. doi: 10.1016/j.apergo.2010.06.009
- Drake, C. L., Roehrs, T., Richardson, G., Walsh, J. K. et Roth, T. (2004). Shift work sleep disorder: Prevalence and consequences beyond that of symptomatic day workers. *Sleep*, 27(8), 1453-1462. doi: 10.1093/sleep/27.8.1453
- Driscoll, T. R., Grunstein, R. R. et Rogers, N. L. (2007). A systematic review of the neurobehavioural and physiological effects of shiftwork systems. *Sleep Medicine Reviews*, 11(3), 179-194. doi: 10.1016/j.smrv.2006.11.001
- Dula, D. J., Dula, N. L., Hamrick, C. et Wood, G. C. (2001). The effect of working serial night shifts on the cognitive functioning of emergency physicians. *Annals of Emergency Medicine*, 38(2), 152-155. doi: 10.1067/mem.2001.116024
- Elgmark Andersson, E., Larsen, L. B. et Ramstrand, N. (2017). A modified job demand, control, support model for active duty police. *Work*, 58(3), 361-370. doi: 10.3233/WOR-172621
- Fairclough, S. H. et Graham, R. (1999). Impairment of driving performance caused by sleep deprivation or alcohol: A comparative study. *Human Factors*, 41(1), 118-128. doi: 10.1518/001872099779577336
- Falleti, M. G., Maruff, P., Collie, A., Darby, D. G. et McStephen, M. (2003). Qualitative similarities in cognitive impairment associated with 24 h of sustained wakefulness and a blood alcohol concentration of 0.05%. *Journal of Sleep Research*, 12(4), 265-274. doi: 10.1111/j.1365-2869.2003.00363.x
- Fallis, W. M., McMillan, D. E. et Edwards, M. P. (2011). Napping during night shift: Practices, preferences, and perceptions of critical care and emergency department nurses. *Critical Care Nurse*, 31(2), e1-11. doi: 10.4037/ccn2011710

- Faraut, B., Andrillon, T., Vecchierini, M. F. et Leger, D. (2017). Napping: A public health issue: From epidemiological to laboratory studies. *Sleep Medicine Reviews*, 35 85-100. doi: 10.1016/j.smrv.2016.09.002
- Ferguson, S. A., Baker, A. A., Lamond, N., Kennaway, D. J. et Dawson, D. (2010). Sleep in a live-in mining operation: The influence of start times and restricted non-work activities. *Applied Ergonomics*, 42(1), 71-75. doi: 10.1016/j.apergo.2010.05.001
- Ferguson, S. A., Kennaway, D. J., Baker, A., Lamond, N. et Dawson, D. (2012). Sleep and circadian rhythms in mining operators: Limited evidence of adaptation to night shifts. *Applied Ergonomics*, 43(4), 695-701. doi: 10.1016/j.apergo.2011.11.003
- Ficca, G., Axelsson, J., Mollicone, D. J., Muto, V. et Vitiello, M. V. (2010). Naps, cognition and performance. *Sleep Medicine Reviews*, 14(4), 249-258. doi: 10.1016/j.smrv.2009.09.005
- Fischer, F. M., de Castro Bruni, A., Berwerth, A., de Castro Moreno, C. R., de Lima Fernandez, R. et Riviello, C. (1997). Do weekly and fast-rotating shiftwork schedules differentially affect duration and quality of sleep? *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 69(5), 354-360. doi: 10.1007/s004200050160
- Flynn-Evans, E. E., Arsintescu, L., Gregory, K., Mulligan, J., Nowinski, J. et Feary, M. (2018). Sleep and neurobehavioral performance vary by work start time during non-traditional day shifts. *Sleep Health*, 4(5), 476-484. doi: 10.1016/j.sleh.2018.08.002
- Folkard, S. (2008). Do permanent night workers show circadian adjustment?: A review based on the endogenous melatonin rhythm. *Chronobiology International*, 25(2), 215-224. doi: 10.1080/07420520802106835
- Folkard, S. et Akerstedt, T. (2004). Trends in the risk of accidents and injuries and their implications for models of fatigue and performance. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 75(S3), A161-167.
- Folkard, S. et Barton, J. (1993). Does the 'forbidden zone' for sleep onset influence morning shift sleep duration? *Ergonomics*, 36(1-3), 85-91.
- Folkard, S. et Tucker, P. (2003). Shift work, safety and productivity. *Occupational Medicine*, 53(2), 95-101. doi: 10.1093/occmed/kqg047
- Ftouni, S., Sletten, T. L., Howard, M., Anderson, C., Lenne, M. G., Lockley, S. W. et Rajaratnam, S. M. (2013). Objective and subjective measures of sleepiness, and their associations with on-road driving events in shift workers. *Journal of Sleep Research*, 22(1), 58-69. doi: 10.1111/j.1365-2869.2012.01038.x
- Gander, P., Hartley, L., Powell, D., Cabon, P., Hitchcock, E., Mills, A. et Popkin, S. (2011). Fatigue risk management: Organizational factors at the regulatory and industry/company level. *Accident Analysis & Prevention*, 43(2), 573-590. doi: 10.1016/j.aap.2009.11.007
- Gander, P., O'Keeffe, K., Santos-Fernandez, E., Huntington, A., Walker, L. et Willis, J. (2020). Development and evaluation of a matrix for assessing fatigue-related risk, derived from a national survey of nurses' work patterns. *International Journal of Nursing Studies*, 112, 103573. doi: 10.1016/j.ijnurstu.2020.103573
- Ganesan, S., Magee, M., Stone, J. E., Mulhall, M. D., Collins, A., Howard, M. E., . . . Sletten, T. L. (2019). The impact of shift work on sleep, alertness and performance in healthcare workers. *Scientific Reports*, 9(1), 4635. doi: 10.1038/s41598-019-40914-x
- Garbarino, S., De Carli, F., Nobili, L., Mascialino, B., Squarcia, S., Penco, M. A., . . . Ferrilla, F. (2002). Sleepiness and sleep disorders in shift workers: A study on a group of Italian police officers. *Sleep*, 25(6), 648-653.
- Garbarino, S., Nobili, L., Beelke, M., De Carli, F. et Ferrillo, F. (2001). The contributing role of sleepiness in highway vehicle accidents. *Sleep*, 24(2), 203-206.

- Garbarino, S., Nobili, L., Philip, P., Plazzi, G., Campus, C., Morrone, E., . . . De Carli, F. (2016). Circadian sleep propensity and alcohol interaction at the wheel. *Journal of Clinical Sleep Medicine, 12*(7), 1011-1017. doi: 10.5664/jcsm.5938
- Garde, A. H., Hansen, A. M. et Hansen, J. (2009). Sleep length and quality, sleepiness and urinary melatonin among healthy Danish nurses with shift work during work and leisure time. *International Archives of Occupational and Environmental Health, 82*(10), 1219-1228. doi: 10.1007/s00420-009-0419-4
- Geiger Brown, J., Wieroney, M., Blair, L., Zhu, S., Warren, J., Scharf, S. M. et Hinds, P. S. (2014). Measuring subjective sleepiness at work in hospital nurses: validation of a modified delivery format of the Karolinska sleepiness scale. *Sleep Breath, 18*(4), 731-739. doi: 10.1007/s11325-013-0935-z
- Gillberg, M., Kecklund, G. et Åkerstedt, T. (1996). Sleepiness and performance of professional drivers in a truck simulator: Comparisons between day and night driving. *Journal of Sleep Research, 5*(1), 12-15.
- Golz, M., Sommer, D., Trutschel, U., Sirois, B. et Edwards, D. (2010). Evaluation of fatigue monitoring technologies. *Somnologie, 14*(3), 187-199. doi: 10.1007/s11818-010-0482-9
- Hallvig, D., Anund, A., Fors, C., Kecklund, G. et Åkerstedt, T. (2014). Real driving at night: Predicting lane departures from physiological and subjective sleepiness. *Biologica Psychologia, 101* 18-23. doi: 10.1016/j.biopsycho.2014.07.001
- Hansen, J. H., Geving, I. H. et Reinertsen, R. E. (2010). Adaptation rate of 6-sulfatoxymelatonin and cognitive performance in offshore fleet shift workers: A field study. *International Archives of Occupational and Environmental Health, 83*(6), 607-615. doi: 10.1007/s00420-010-0547-x
- Hardeland, R. (2009). Tasimelteon, a melatonin agonist for the treatment of insomnia and circadian rhythm sleep disorders. *Current Opinion in Investigational Drugs, 10*(7), 691-701.
- Harma, M., Laitinen, J., Partinen, M. et Suvanto, S. (1994). The effect of four-day round trip flights over 10 time zones on the circadian variation of salivary melatonin and cortisol in airline flight attendants. *Ergonomics, 37*(9), 1479-1489. doi: 10.1080/00140139408964927
- Harma, M., Sallinen, M., Ranta, R., Mutanen, P. et Muller, K. (2002). The effect of an irregular shift system on sleepiness at work in train drivers and railway traffic controllers. *Journal of Sleep Research, 11*(2), 141-151. doi: 10.1046/j.1365-2869.2002.00294.x
- Honn, K. A., HPA, V. A. N. D. et Dawson, D. (2019). Working time society consensus statements: Prescriptive rule sets and risk management-based approaches for the management of fatigue-related risk in working time arrangements. *Industrial Health, 57*(2), 264-280. doi: 10.2486/indhealth.SW-8
- Horwitz, I. B. et McCall, B. P. (2004). The impact of shift work on the risk and severity of injuries for hospital employees: An analysis using Oregon workers' compensation data. *Occupational Medicine, 54*(8), 556-563. doi: 10.1093/occmed/kqh093
- Hursh, S. R., Redmond, D. P., Johnson, M. L., Thorne, D. R., Belenky, G., Balkin, T. J., . . . Eddy, D. R. (2004). Fatigue models for applied research in warfighting. *Aviation, Space and Environmental Medicine, 75*(S3), A44-53.
- Ingre, M., Åkerstedt, T., Peters, B., Anund, A. et Kecklund, G. (2006). Subjective sleepiness, simulated driving performance and blink duration: Examining individual differences. *Journal of Sleep Research, 15*(1), 47-53. doi: 10.1111/j.1365-2869.2006.00504.x
- James, F. O., Boivin, D. B., Charbonneau, S., Belanger, V. et Cermakian, N. (2007). Expression of clock genes in human peripheral blood mononuclear cells throughout the sleep/wake

- and circadian cycles. *Chronobiology International*, 24(6), 1009-1034. doi: 10.1080/07420520701800736
- James, F. O., Cermakian, N. et Boivin, D. B. (2007). Circadian rhythms of melatonin, cortisol, and clock gene expression during simulated night shift work. *Sleep*, 30(11), 1427-1436. doi: 10.1093/sleep/30.11.1427
- James, F. O., Walker, C. D. et Boivin, D. B. (2004). Controlled exposure to light and darkness realigns the salivary cortisol rhythm in night shift workers. *Chronobiology International*, 21(6), 961-972. doi: 10.1081/cbi-200035944
- James, S., Vila, B., Fridell, L. et Gustafson, B. G. (2015). Police drowsy driving: Predicting fatigue-related performance decay. *Policing: An International Journal of Police Strategies & Management*, 38(3).
- James, S. M., Honn, K. A., Gaddameedhi, S. et Van Dongen, H. P. A. (2017). Shift Work: Disrupted circadian rhythms and sleep-implications for health and well-being. *Current Sleep Medicine Reports*, 3(2), 104-112. doi: 10.1007/s40675-017-0071-6
- Jarnefelt, H., Lagerstedt, R., Kajaste, S., Sallinen, M., Savolainen, A. et Hublin, C. (2012). Cognitive behavioral therapy for shift workers with chronic insomnia. *Sleep Medicine*, 13(10), 1238-1246. doi: 10.1016/j.sleep.2012.10.003
- Jay, S. M., Dawson, D. et Lamond, N. (2006). Train drivers' sleep quality and quantity during extended relay operations. *Chronobiology International*, 23(6), 1241-1252. doi: 10.1080/07420520601083409
- Jeong, H. S., Jeon, Y., Ma, J., Choi, Y., Ban, S., Lee, S., . . . Lyoo, I. K. (2015). Validation of the Athens insomnia scale for screening insomnia in South Korean firefighters and rescue workers. *Quality of Life Research*, 24(10), 2391-2395. doi: 10.1007/s11136-015-0986-7
- Jewett, M. E. et Kronauer, R. E. (1999). Interactive mathematical models of subjective alertness and cognitive throughput in humans. *Journal of Biological Rhythms*, 14(6), 588-597. doi: 10.1177/074873099129000920
- Johns, M. W. (1991). A new method for measuring daytime sleepiness: The Epworth sleepiness scale. *Sleep*, 14(6), 540-545. doi: 10.1093/sleep/14.6.540
- Jones, C. B., Dorrian, J., Jay, S. M., Lamond, N., Ferguson, S. et Dawson, D. (2006). Self-awareness of impairment and the decision to drive after an extended period of wakefulness. *Chronobiology International*, 23(6), 1253-1263. doi: 10.1080/07420520601083391
- Jongen, S., Perrier, J., Vuurman, E. F., Ramaekers, J. G. et Vermeeren, A. (2015). Sensitivity and validity of psychometric tests for assessing driving impairment: Effects of sleep deprivation. *PLoS One*, 10(2), e0117045. doi: 10.1371/journal.pone.0117045
- Juda, M., Vetter, C. et Roenneberg, T. (2013a). Chronotype modulates sleep duration, sleep quality, and social jet lag in shift-workers. *Journal of Biological Rhythms*, 28(2), 141-151. doi: 10.1177/0748730412475042
- Juda, M., Vetter, C. et Roenneberg, T. (2013b). The Munich chronotype questionnaire for shift-workers (MCTQShift). *Journal of Biological Rhythms*, 28(2), 130-140. doi: 10.1177/0748730412475041
- Kandelaars, K. J., Fletcher, A., Dorrian, J., Balk, S. D. et Dawson, D. (2006). Predicting the timing and duration of sleep in an operational setting using social factors. *Chronobiology International*, 23(6), 1265-1276. doi: 10.1080/07420520601096393
- Kecklund, G. et Axelsson, J. (2016). Health consequences of shift work and insufficient sleep. *BMJ*, 355 i5210. doi: 10.1136/bmj.i5210

- Kervezee, L., Kosmadopoulos, A. et Boivin, D. B. (2020). Metabolic and cardiovascular consequences of shift work: The role of circadian disruption and sleep disturbances. *European Journal of Neuroscience*, 51(1), 396-412. doi: 10.1111/ejn.14216
- Kervezee, L., Shechter, A. et Boivin, D. B. (2018). Impact of shift work on the circadian timing system and health in women. *Sleep Medicine Clinics*, 13(3), 295-306. doi: 10.1016/j.jsmc.2018.04.003
- Klerman, E. B., Gershengorn, H. B., Duffy, J. F. et Kronauer, R. E. (2002). Comparisons of the variability of three markers of the human circadian pacemaker. *Journal of Biological Rhythms*, 17(2), 181-193. doi: 10.1177/074873002129002474
- Kosmadopoulos, A., Kervezee, L., Boudreau, P., Gonzales-Aste, F., Vujovic, N., Scheer, F. et Boivin, D. B. (2020). Effects of shift work on the eating behavior of police officers on patrol. *Nutrients*, 12(4). doi: 10.3390/nu12040999
- Kosmadopoulos, A., Sargent, C., Darwent, D., Zhou, X. et Roach, G. D. (2014). Alternatives to polysomnography (PSG): A validation of wrist actigraphy and a partial-PSG system. *Behavior Research Methods*, 46(4), 1032-1041. doi: 10.3758/s13428-013-0438-7
- Kripke, D. F., Youngstedt, S. D., Elliott, J. A., Tuunainen, A., Rex, K. M., Hauger, R. L. et Marler, M. R. (2005). Circadian phase in adults of contrasting ages. *Chronobiology International*, 22(4), 695-709. doi: 10.1080/07420520500180439
- Lamond, N. et Dawson, D. (1999). Quantifying the performance impairment associated with fatigue. *Journal of Sleep Research*, 8(4), 255-262. doi: 10.1046/j.1365-2869.1999.00167.x
- Lamond, N., Dorrian, J., Burgess, H., Holmes, A., Roach, G., McCulloch, K., . . . Dawson, D. (2004). Adaptation of performance during a week of simulated night work. *Ergonomics*, 47(2), 154-165. doi: 10.1080/00140130310001617930
- Lamond, N., Dorrian, J., Roach, G. D., McCulloch, K., Holmes, A. L., Burgess, H. J., . . . Dawson, D. (2003). The impact of a week of simulated night work on sleep, circadian phase, and performance. *Occupational and Environmental Medicine*, 60(11), e13. doi: 10.1136/oem.60.11.e13
- Lamond, N., Jay, S. M., Dorrian, J., Ferguson, S. A., Roach, G. D. et Dawson, D. (2008). The sensitivity of a palm-based psychomotor vigilance task to severe sleep loss. *Behavior Research Methods*, 40(1), 347-352. doi: 10.3758/brm.40.1.347
- Lee, H. J., Son, K.-L., Bang, Y. R., Jeon, H. J., Lee, K. et Yoon, I.-Y. (2018). The association between shift work-related sleep complaints and shift work intolerance. *Sleep and Biological Rhythms*, 17(1), 3-10. doi: 10.1007/s41105-018-0178-2
- Lee, M. L., Howard, M. E., Horrey, W. J., Liang, Y., Anderson, C., Shreeve, M. S., . . . Czeisler, C. A. (2016). High risk of near-crash driving events following night-shift work. *Proceedings of National Academy of Sciences*, 113(1), 176-181. doi: 10.1073/pnas.1510383112
- Leger, D. et Ement, P. (2015). Somnolence et risque accidentel. *Presse médicale*, 44(10), 1022-1028. doi: 10.1016/j.lpm.2015.04.002
- Leger, D., Esquirol, Y., Gronfier, C., Metlaine, A. et Groupe consensus chronobiologie et sommeil de la Société française de recherche et médecine du sommeil. (2018). Le travail posté et de nuit et ses conséquences sur la santé : état des lieux et recommandations. *Presse médicale*, 47(11-12 Pt 1), 991-999. doi: 10.1016/j.lpm.2018.10.014
- Lin, C. Y., Cheng, A. S. K., Nejati, B., Imani, V., Ulander, M., Browall, M., . . . Pakpour, A. H. (2020). A thorough psychometric comparison between Athens insomnia scale and insomnia severity index among patients with advanced cancer. *Journal of Sleep Research*, 29(1), e12891. doi: 10.1111/jsr.12891

- Liu, J., Ramakrishnan, S., Laxminarayan, S., Balkin, T. J. et Reifman, J. (2017). Real-time individualization of the unified model of performance. *Journal of Sleep Research*, 26(6), 820-831. doi: 10.1111/jsr.12535
- Lo, J. C., Groeger, J. A., Santhi, N., Arbon, E. L., Lazar, A. S., Hasan, S., . . . Dijk, D. J. (2012). Effects of partial and acute total sleep deprivation on performance across cognitive domains, individuals and circadian phase. *PLoS One*, 7(9), e45987. doi: 10.1371/journal.pone.0045987
- Lombardi, D. A., Wirtz, A., Willetts, J. L. et Folkard, S. (2012). Independent effects of sleep duration and body mass index on the risk of a work-related injury: Evidence from the US National Health interview survey (2004-2010). *Chronobiology International*, 29(5), 556-564. doi: 10.3109/07420528.2012.675253
- Lovato, N. et Lack, L. (2010). The effects of napping on cognitive functioning. Dans G. A. Kerkhof et H. P. A. v. Dongen (Édit.), *Progress in Brain Research* (p. 155-166). Londres, Angleterre: Elsevier.
- Macchi, M. M., Boulos, Z., Ranney, T., Simmons, L. et Campbell, S. S. (2002). Effects of an afternoon nap on nighttime alertness and performance in long-haul drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 34(6), 825-834. doi: 10.1016/s0001-4575(01)00089-6
- Magee, M., Sletten, T. L., Ferguson, S. A., Grunstein, R. R., Anderson, C., Kennaway, D. J., . . . Rajaratnam, S. M. W. (2016). Associations between number of consecutive night shifts and impairment of neurobehavioral performance during a subsequent simulated night shift. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 42(3), 1-11.
- Mallis, M. M., Mejdal, S., Nguyen, T. T. et Dinges, D. F. (2004). Summary of the key features of seven biomathematical models of human fatigue and performance. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 75(3 Suppl), A4-14.
- Malmberg, B., Kecklund, G., Karlson, B., Persson, R., Flisberg, P. et Orbaek, P. (2010). Sleep and recovery in physicians on night call: A longitudinal field study. *BMC Health Services Research*, 10, 239. doi: 10.1186/1472-6963-10-239
- Maltese, F., Adda, M., Bablon, A., Hraeich, S., Guervilly, C., Lehingue, S., . . . Papazian, L. (2016). Night shift decreases cognitive performance of ICU physicians. *Intensive Care Medicine*, 42(3), 393-400. doi: 10.1007/s00134-015-4115-4
- Marino, M., Li, Y., Rueschman, M. N., Winkelmann, J. W., Ellenbogen, J. M., Solet, J. M., . . . Buxton, O. M. (2013). Measuring sleep: Accuracy, sensitivity, and specificity of wrist actigraphy compared to polysomnography. *Sleep*, 36(11), 1747-1755. doi: 10.5665/sleep.3142
- Maruff, P., Falletti, M. G., Collie, A., Darby, D. et McStephen, M. (2005). Fatigue-related impairment in the speed, accuracy and variability of psychomotor performance: comparison with blood alcohol levels. *Journal of Sleep Research*, 14(1), 21-27. doi: 10.1111/j.1365-2869.2004.00438.x
- Min, A., Min, H. et Hong, H. C. (2019). Work schedule characteristics and fatigue among rotating shift nurses in hospital setting: An integrative review. *Journal of Nursing Management*, 27(5), 884-895. doi: 10.1111/jonm.12756
- Mohawk, J. A., Green, C. B. et Takahashi, J. S. (2012). Central and peripheral circadian clocks in mammals. *Annual Review of Neuroscience*, 35, 445-462. doi: 10.1146/annurev-neuro-060909-153128
- Mollicone, D. J., Van Dongen, H. P., Rogers, N. L. et Dinges, D. F. (2008). Response surface mapping of neurobehavioral performance: Testing the feasibility of split sleep schedules for space operations. *Acta Astronautica*, 63(7-10), 833-840. doi: 10.1016/j.actaastro.2007.12.005

- Mollicone, D. J., Van Dongen, H. P. A. et Dinges, D. F. (2007). Optimizing sleep/wake schedules in space: Sleep during chronic nocturnal sleep restriction with and without diurnal naps. *Acta Astronautica*, 60(4-7), 354-361.
- Moore-Ede, M., Heitmann, A., Guttkuhn, R., Trutschel, U., Aguirre, A. et Croke, D. (2004). Circadian alertness simulator for fatigue risk assessment in transportation: Application to reduce frequency and severity of truck accidents. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 75(3 Suppl), A107-118.
- Moreno, C. R. C., Marqueze, E. C., Sargent, C., Wright Jr, K. P., Jr., Ferguson, S. A. et Tucker, P. (2019). Working time society consensus statements: Evidence-based effects of shift work on physical and mental health. *Industrial Health*, 57(2), 139-157. doi: 10.2486/indhealth.SW-1
- Morgenthaler, T. I., Lee-Chiong, T., Alessi, C., Friedman, L., Aurora, R. N., Boehlecke, B., . . . Standards of practice committee of the American academy of sleep. (2007). Practice parameters for the clinical evaluation and treatment of circadian rhythm sleep disorders: An American academy of sleep medicine report. *Sleep*, 30(11), 1445-1459. doi: 10.1093/sleep/30.11.1445
- Morin, C. M., Belleville, G., Belanger, L. et Ivers, H. (2011). The insomnia severity index: Psychometric indicators to detect insomnia cases and evaluate treatment response. *Sleep*, 34(5), 601-608. doi: 10.1093/sleep/34.5.601
- Mulhall, M. D., Sletten, T. L., Magee, M., Stone, J. E., Ganesan, S., Collins, A., . . . Rajaratnam, S. M. W. (2019). Sleepiness and driving events in shift workers: The impact of circadian and homeostatic factors. *Sleep*, 42(6). doi: 10.1093/sleep/zsz074
- Neylan, T. C., Metzler, T. J., Best, S. R., Weiss, D. S., Fagan, J. A., Liberman, A., . . . Marmar, C. R. (2002). Critical incident exposure and sleep quality in police officers. *Psychosomatic Medicine*, 64(2), 345-352. doi: 10.1097/00006842-200203000-00019
- Niu, S. F., Chung, M. H., Chen, C. H., Hegney, D., O'Brien, A. et Chou, K. R. (2011). The effect of shift rotation on employee cortisol profile, sleep quality, fatigue, and attention level: A systematic review. *Journal of Nursing Research*, 19(1), 68-81. doi: 10.1097/JNR.0b013e31820c1879
- Noyes, J. M. et Bruneau, D. P. (2007). A self-analysis of the NASA-TLX workload measure. *Ergonomics*, 50(4), 514-519. doi: 10.1080/00140130701235232
- Oakley, N. R. (1997). *Validation with polysomnography of the sleepwatch sleep/wake scoring algorithm used by the Actiwatch activity monitoring system*. Bend, OR: Mini Mitter
- Ogden, E. J. et Moskowitz, H. (2004). Effects of alcohol and other drugs on driver performance. *Traffic Injury Prevention*, 5(3), 185-198. doi: 10.1080/15389580490465201
- Ohayon, M. M., Smolensky, M. H. et Roth, T. (2010). Consequences of shiftworking on sleep duration, sleepiness, and sleep attacks. *Chronobiology International*, 27(3), 575-589. doi: 10.3109/07420521003749956
- Paech, G. M., Jay, S. M., Lamond, N., Roach, G. D. et Ferguson, S. A. (2010). The effects of different roster schedules on sleep in miners. *Applied Ergonomics*, 41(4), 600-606. doi: 10.1016/j.apergo.2009.12.017
- Papantoniou, K., Pozo, O. J., Espinosa, A., Marcos, J., Castano-Vinyals, G., Basagana, X., . . . Kogevinas, M. (2014). Circadian variation of melatonin, light exposure, and diurnal preference in day and night shift workers of both sexes. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prevention*, 23(7), 1176-1186. doi: 10.1158/1055-9965.EPI-13-1271
- Patel, S. R., Weng, J., Rueschman, M., Dudley, K. A., Loreda, J. S., Mossavar-Rahmani, Y., . . . Wang, R. (2015). Reproducibility of a standardized actigraphy scoring algorithm for sleep in a US hispanic/latino population. *Sleep*, 38(9), 1497-1503. doi: 10.5665/sleep.4998

- Paterson, J. L., Dorrian, J., Pincombe, J., Grech, C. et Dawson, D. (2010). Mood change and perception of workload in Australian midwives. *Industrial Health*, 48(4), 381-389. doi: 10.2486/indhealth.mssw-01
- Paterson, J. L., Sofianopoulos, S. et Williams, B. (2014). What paramedics think about when they think about fatigue: Contributing factors. *Emergency Medicine Australasia*, 26(2), 139-144. doi: 10.1111/1742-6723.12216
- Philip, P. (2005). Sleepiness of occupational drivers. *Industrial Health*, 43(1), 30-33. doi: 10.2486/indhealth.43.30
- Philip, P., Sagaspe, P., Prague, M., Tassi, P., Capelli, A., Bioulac, B., . . . Taillard, J. (2012). Acute versus chronic partial sleep deprivation in middle-aged people: Differential effect on performance and sleepiness. *Sleep*, 35(7), 997-1002. doi: 10.5665/sleep.1968
- Pilcher, J. J., Lambert, B. J. et Huffcutt, A. I. (2000). Differential effects of permanent and rotating shifts on self-report sleep length: A meta-analytic review. *Sleep*, 23(2), 155-163.
- Prayag, A. S., Munch, M., Aeschbach, D., Chellappa, S. L. et Gronfier, C. (2019). Light modulation of human clocks, wake, and sleep. *Clocks Sleep*, 1(1), 193-208. doi: 10.3390/clockssleep1010017
- Rabat, A., Arnal, P. J., Monnard, H., Erblang, M., Van Beers, P., Bougard, C., . . . Chennaoui, M. (2019). Limited benefit of sleep extension on cognitive deficits during total sleep deprivation: Illustration with two executive processes. *Frontiers in Neuroscience*, 13, 591. doi: 10.3389/fnins.2019.00591
- Radun, I., Ohisalo, J., Radun, J. et Kecklund, G. (2011). Night work, fatigued driving and traffic law: The case of police officers. *Industrial Health*, 49(3), 389-392. doi: 10.2486/indhealth.ms1223
- Rahman, S. A., Wright, K. P., Jr., Lockley, S. W., Czeisler, C. A. et Gronfier, C. (2019). Characterizing the temporal dynamics of melatonin and cortisol changes in response to nocturnal light exposure. *Science Reports*, 9(1), 19720. doi: 10.1038/s41598-019-54806-7
- Rajbhandary, S. et Basu, K. (2010). Working conditions of nurses and absenteeism: Is there a relationship?: An empirical analysis using national survey of the work and health of nurses. *Health Policy*, 97(2-3), 152-159. doi: 10.1016/j.healthpol.2010.04.010
- Rajdev, P., Thorsley, D., Rajaraman, S., Rupp, T. L., Wesensten, N. J., Balkin, T. J. et Reifman, J. (2013). A unified mathematical model to quantify performance impairment for both chronic sleep restriction and total sleep deprivation. *Journal of Theoretical Biology*, 331, 66-77. doi: 10.1016/j.jtbi.2013.04.013
- Ramey, S. L., Perkhounkova, Y., Moon, M., Budde, L., Tseng, H. C. et Clark, M. K. (2012). The effect of work shift and sleep duration on various aspects of police officers' health. *Workplace Health & Safety*, 60(5), 215-222. doi: 10.3928/21650799-20120416-22
- Raslear, T. G., Hursh, S. R. et Van Dongen, H. P. (2011). Predicting cognitive impairment and accident risk. *Progress in Brain Research*, 190, 155-167. doi: 10.1016/B978-0-444-53817-8.00010-4
- Reifman, J., Kumar, K., Wesensten, N. J., Tountas, N. A., Balkin, T. J. et Ramakrishnan, S. (2016). 2B-Alert Web: An open-access tool for predicting the effects of sleep/wake schedules and caffeine consumption on neurobehavioral performance. *Sleep*, 39(12), 2157-2159. doi: 10.5665/sleep.6318
- Reifman, J., Ramakrishnan, S., Liu, J., Kapela, A., Doty, T. J., Balkin, T. J., . . . Khitrov, M. Y. (2019). 2B-Alert App: A mobile application for real-time individualized prediction of alertness. *Journal of Sleep Research*, 28(2), e12725. doi: 10.1111/jsr.12725

- Ritonja, J., Aronson, K. J., Matthews, R. W., Boivin, D. B. et Kantermann, T. (2019). Working time society consensus statements: Individual differences in shift work tolerance and recommendations for research and practice. *Industrial Health*, 57(2), 201-212. doi: 10.2486/indhealth.SW-5
- Roach, G. D., Dorrian, J., Fletcher, A. et Dawson, D. (2001). Comparing the effects of fatigue and alcohol consumption on locomotive engineers' performance in a rail simulator. *Journal of Human Ergology*, 30(1-2), 125-130.
- Roach, G. D., Fletcher, A. et Dawson, D. (2004). A model to predict work-related fatigue based on hours of work. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 75(S3), A61-69.
- Roenneberg, T., Wirz-Justice, A. et Mellow, M. (2003). Life between clocks: Daily temporal patterns of human chronotypes. *Journal of Biological Rhythms*, 18(1), 80-90. doi: 10.1177/0748730402239679
- Roth, T. (2012). Appropriate therapeutic selection for patients with shift work disorder. *Sleep Medicine*, 13(4), 335-341. doi: 10.1016/j.sleep.2011.11.006
- Ruger, M., St Hilaire, M. A., Brainard, G. C., Khalsa, S. B., Kronauer, R. E., Czeisler, C. A. et Lockley, S. W. (2013). Human phase response curve to a single 6.5 h pulse of short-wavelength light. *Journal of Physiology*, 591(1), 353-363. doi: 10.1113/jphysiol.2012.239046
- Ruggiero, J. S. et Redeker, N. S. (2014). Effects of napping on sleepiness and sleep-related performance deficits in night-shift workers: A systematic review. *Biological Research for Nursing*, 16(2), 134-142. doi: 10.1177/1099800413476571
- Ruggiero, J. S., Redeker, N. S., Fiedler, N., Avi-Itzhak, T. et Fischetti, N. (2012). Sleep and psychomotor vigilance in female shiftworkers. *Biological Research for Nursing*, 14(3), 225-235. doi: 10.1177/1099800411408413
- Sallinen, M., Harma, M., Mutanen, P., Ranta, R., Virkkala, J. et Muller, K. (2003). Sleep-wake rhythm in an irregular shift system. *Journal of Sleep Research*, 12(2), 103-112. doi: 10.1046/j.1365-2869.2003.00346.x
- Sallinen, M., Sihvola, M., Puttonen, S., Ketola, K., Tuori, A., Härmä, M., . . . Åkerstedt, T. (2017). Sleep, alertness and alertness management among commercial airline pilots on short-haul and long-haul flights. *Accident Analysis & Prevention*, 98, 320-329.
- Samn, S. W. et Perelli, L. P. (1982). *Estimating aircrew fatigue: A technique with application to airlift operations*. Tiré de <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a125319.pdf>
- Santhi, N., Horowitz, T. S., Duffy, J. F. et Czeisler, C. A. (2007). Acute sleep deprivation and circadian misalignment associated with transition onto the first night of work impairs visual selective attention. *PLoS One*, 2(11), e1233. doi: 10.1371/journal.pone.0001233
- Silva, E. J., Wang, W., Ronda, J. M., Wyatt, J. K. et Duffy, J. F. (2010). Circadian and wake-dependent influences on subjective sleepiness, cognitive throughput, and reaction time performance in older and young adults. *Sleep*, 33(4), 481-490. doi: 10.1093/sleep/33.4.481
- Sletten, T. L., Ftouni, S., Nicholas, C. L., Magee, M., Grunstein, R. R., Ferguson, S., . . . Rajaratnam, S. M. W. (2017). Randomised controlled trial of the efficacy of a blue-enriched light intervention to improve alertness and performance in night shift workers. *Occupational and Environmental Medicine*, 74(11), 792-801. doi: 10.1136/oemed-2016-103818
- Smiley, A., Smahel, T., Boivin, D. B., Boudreau, P., Remmers, J., Turner, M., . . . Gregory, K. B. (2009). *Effects of a fatigue management program on fatigue in the commercial motor carrier industry: Summary report*. Ottawa, ON: Transport Canada.

- Smith, M. R., Fogg, L. F. et Eastman, C. I. (2009). Practical interventions to promote circadian adaptation to permanent night shift work: Study 4. *Journal of Biological Rhythms*, 24(2), 161-172. doi: 10.1177/0748730409332068
- Soldatos, C. R., Dikeos, D. G. et Paparrigopoulos, T. J. (2000). Athens insomnia scale: Validation of an instrument based on ICD-10 criteria. *Journal of Psychosomatic Research*, 48(6), 555-560. doi: 10.1016/s0022-3999(00)00095-7
- St Hilaire, M. A., Gooley, J. J., Khalsa, S. B., Kronauer, R. E., Czeisler, C. A. et Lockley, S. W. (2012). Human phase response curve to a 1 h pulse of bright white light. *Journal of Physiology*, 590(13), 3035-3045. doi: 10.1113/jphysiol.2012.227892
- Statistics Canada Labour and Household Surveys Analysis Division (1998). *Work arrangements in the 1990s: Analytic reports* (Rapport n° 71-535-MPB, no. 8). Ottawa, ON: Statistics Canada.
- Stone, J. E., Sletten, T. L., Magee, M., Ganesan, S., Mulhall, M. D., Collins, A., . . . Rajaratnam, S. M. W. (2018). Temporal dynamics of circadian phase shifting response to consecutive night shifts in healthcare workers: Role of light-dark exposure. *Journal of Physiology*, 596(12), 2381-2395. doi: 10.1113/JP275589
- Studnek, J. R., Infinger, A. E., Renn, M. L., Weiss, P. M., Condle, J. P., Flickinger, K. L., . . . Patterson, P. D. (2018). Effect of task load interventions on fatigue in emergency medical services personnel and other shift workers: A systematic review. *Prehospital Emergency Care*, 22(S1), 81-88. doi: 10.1080/10903127.2017.1384874
- Swanson, L. M., Arnedt, J. T., Rosekind, M. R., Belenky, G., Balkin, T. J. et Drake, C. (2011). Sleep disorders and work performance: findings from the 2008 national sleep foundation sleep in America poll. *Journal of Sleep Research*, 20(3), 487-494. doi: 10.1111/j.1365-2869.2010.00890.x
- Taillard, J., Philip, P., Chastang, J. F. et Bioulac, B. (2004). Validation of Horne and Ostberg morningness-eveningness questionnaire in a middle-aged population of French workers. *Journal of Biological Rhythms*, 19(1), 76-86. doi: 10.1177/0748730403259849
- Takami, M., Kadotani, H., Nishikawa, K., Sumi, Y., Nakabayashi, T., Fujii, Y., . . . Yamada, N. (2018). Quality of life, depression, and productivity of city government employees in Japan: A comparison study using the Athens insomnia scale and insomnia severity index. *Sleep Science and Practice*, 2(1), 1-8. doi: 10.1186/s41606-018-0024-0
- Takeyama, H., Kubo, T. et Itani, T. (2005). The nighttime nap strategies for improving night shift work in workplace. *Industrial Health*, 43(1), 24-29. doi: 10.2486/indhealth.43.24
- Tepas, D. I. (1982). Shiftworker sleep strategies. *Journal of Human Ergology*, 11(S), 325-336. doi: 10.11183/jhe1972.11.Supplement_325
- Thomas, M. J. et Ferguson, S. A. (2010). Prior sleep, prior wake, and crew performance during normal flight operations. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 81(7), 665-670. doi: 10.3357/ASEM.2711.2010
- Tomasko, J. M., Pauli, E. M., Kunselman, A. R. et Haluck, R. S. (2012). Sleep deprivation increases cognitive workload during simulated surgical tasks. *American Journal of Surgery*, 203(1), 37-43. doi: 10.1016/j.amjsurg.2011.08.009
- van Amelsvoort, L. G. P. M., Jansen, N. W. H., Swaen, G. M. H., van den Brandt, P. A. et Kant, I. (2004). Direction of shift rotation among three-shift workers in relation to psychological health and work-family conflict. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 30(2), 149-156.
- Van Dongen, H. P. (2004). Comparison of mathematical model predictions to experimental data of fatigue and performance. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 75(S3), A15-36.

- Van Dongen, H. P., Baynard, M. D., Maislin, G. et Dinges, D. F. (2004). Systematic interindividual differences in neurobehavioral impairment from sleep loss: Evidence of trait-like differential vulnerability. *Sleep*, 27(3), 423-433.
- Van Dongen, H. P. et Belenky, G. (2009). Individual differences in vulnerability to sleep loss in the work environment. *Industrial Health*, 47(5), 518-526. doi: 10.2486/indhealth.47.518
- Van Dongen, H. P., Caldwell, J. A., Jr. et Caldwell, J. L. (2006). Investigating systematic individual differences in sleep-deprived performance on a high-fidelity flight simulator. *Behavior Research Methods*, 38(2), 333-343. doi: 10.3758/bf03192785
- Van Dongen, H. P., Maislin, G. et Dinges, D. F. (2004). Dealing with inter-individual differences in the temporal dynamics of fatigue and performance: Importance and techniques. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 75(S3), A147-154.
- Van Dongen, H. P., Maislin, G., Mullington, J. M. et Dinges, D. F. (2003). The cumulative cost of additional wakefulness: Dose-response effects on neurobehavioral functions and sleep physiology from chronic sleep restriction and total sleep deprivation. *Sleep*, 26(2), 117-126. doi: 10.1093/sleep/26.2.117
- Vila, B. (2000). *Tired cops: The importance of managing police fatigue*. Washington, DC: Police Executive Research Forum
- Vila, B. (2006). Impact of long work hours on police officers and the communities they serve. *American Journal of Industrial Medicine*, 49(11), 972-980. doi: 10.1002/ajim.20333
- Violanti, J. M., Fekedulegn, D., Andrew, M. E., Charles, L. E., Hartley, T., Vila, B. et Burchfiel, C. (2011). Shift work and long-term injury among police officers. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 37(3), 173-185.
- Violanti, J. M., Fekedulegn, D., Andrew, M. E., Charles, L. E., Hartley, T. A., Vila, B. et Burchfiel, C. M. (2012). Shift work and the incidence of injury among police officers. *American Journal of Industrial Medicine*, 55(3), 217-227. doi: 10.1002/ajim.22007
- Violanti, J. M. et Gehrke, A. (2004). Police trauma encounters: Precursors of compassion fatigue. *International Journal of Emergency Mental Health*, 6(2), 75-80.
- Vitaterna, M. H., Ko, C. H., Chang, A. M., Buhr, E. D., Fruechte, E. M., Schook, A., . . . Takahashi, J. S. (2006). The mouse clock mutation reduces circadian pacemaker amplitude and enhances efficacy of resetting stimuli and phase-response curve amplitude. *Proceedings of National Academy of Sciences*, 103(24), 9327-9332. doi: 10.1073/pnas.0603601103
- Waage, S., Moen, B. E., Pallesen, S., Eriksen, H. R., Ursin, H., Åkerstedt, T. et Bjorvatn, B. (2009). Shift work disorder among oil rig workers in the North Sea. *Sleep*, 32(4), 558-565.
- Waggoner, L. B., Grant, D. A., Van Dongen, H. P., Belenky, G. et Vila, B. (2012). A combined field and laboratory design for assessing the impact of night shift work on police officer operational performance. *Sleep*, 35(11), 1575-1577. doi: 10.5665/sleep.2214
- Wagstaff, A. S. et Sigstad Lie, J. A. (2011). Shift and night work and long working hours: A systematic review of safety implications. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 37(3), 173-185. doi: 10.5271/sjweh.3146
- Wang, X. S., Travis, R. C., Reeves, G., Green, J., Allen, N. E., Key, T. J., . . . Beral, V. (2012). Characteristics of the million women study participants who have and have not worked at night. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 38(6), 590-599. doi: 10.5271/sjweh.3313
- Wesensten, N. J., Balkin, T. J. et Belenky, G. (2015). Countermeasures for mitigating fatigue in motor vehicle operators. *Reviews of Human Factors And Ergonomics*, 10(1), 115-137.
- Whitson, P. A., Putcha, L., Chen, Y.-M. et Baker, E. (1995). Melatonin and cortisol assessment of circadian shifts in astronauts before flight. *Journal of Pineal Research*, 18(3), 141-147.

-
- Williams, C. (2008). Work-life balance of shift workers. Tiré de http://formations.ceams-carsm.ca/night_work/PDF/Work-life_balance_of_shift_workers.pdf
- Williamson, A. M. et Feyer, A. M. (2000). Moderate sleep deprivation produces impairments in cognitive and motor performance equivalent to legally prescribed levels of alcohol intoxication. *Occupational and Environmental Medicine*, 57(10), 649-655. doi: 10.1136/oem.57.10.649
- Williamson, A. M., Feyer, A. M., Mattick, R. P., Friswell, R. et Finlay-Brown, S. (2001). Developing measures of fatigue using an alcohol comparison to validate the effects of fatigue on performance. *Accident Analysis & Prevention*, 33(3), 313-326. doi: 10.1016/s0001-4575(00)00045-2
- Wong, I. S., McLeod, C. B. et Demers, P. A. (2011). Shift work trends and risk of work injury among Canadian workers. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 37(1), 54-61. doi: 10.5271/sjweh.3124
- Wright, K. P., Jr., Bogan, R. K. et Wyatt, J. K. (2013). Shift work and the assessment and management of shift work disorder (SWD). *Sleep Medicine Reviews*, 17(1), 41-54. doi: 10.1016/j.smr.2012.02.002
- Yan, L. et Silver, R. (2004). Resetting the brain clock: time course and localization of mPER1 and mPER2 protein expression in suprachiasmatic nuclei during phase shifts. *European Journal of Neuroscience*, 19(4), 1105-1109. doi: 10.1111/j.1460-9568.2004.03189.x
- Zhou, X., Ferguson, S. A., Matthews, R. W., Sargent, C., Darwent, D., Kennaway, D. J. et Roach, G. D. (2012). Mismatch between subjective alertness and objective performance under sleep restriction is greatest during the biological night. *Journal of Sleep Research*, 21(1), 40-49. doi: 10.1111/j.1365-2869.2011.00924.x

ANNEXE A : ÉCHELLE DE FATIGUE ET DE SOMNOLENCE

A.I Échelle de somnolence de Karolinska

Évaluez votre niveau de somnolence actuel.

-
- 1 - Extrêmement alerte
 - 2 - Très alerte
 - 3 - Alerte
 - 4 - Assez alerte
 - 5 - Ni alerte ni somnolent
 - 6 - Signes de somnolence
 - 7 - Somnolent, mais reste éveillé sans effort
 - 8 - Somnolent, demande des efforts pour rester éveillé
 - 9- Très somnolent, demande de gros efforts pour rester éveillé, lutte contre le sommeil
-

A.II Échelle de fatigue de Samn-Perelli

Évaluez votre niveau actuel de fatigue.

-
- 1 - Pleinement alerte, bien réveillé
 - 2 - Très dynamique et réactif, mais pas au maximum
 - 3 - Bien, relativement reposé
 - 4 - Un peu fatigué, pas tout à fait reposé
 - 5 - Assez fatigué, un peu déconcentré
 - 6 - Extrêmement fatigué, très difficile de se concentrer
 - 7 - Complètement épuisé, incapable de fonctionner efficacement
-

ANNEXE B : MESURE DE LA PHASE CIRCADIENNE

B.I Calcul du taux horaire d'excrétion

Pour chaque échantillon d'urine, la quantité de 6-sulfatoxy-mélatonine et de cortisol urinaire excrété a été calculée de la façon suivante :

$$\text{Quantité (ng)} = \text{Concentration (ng/ml)} + \text{Volume d'urine (ml)} \quad (2)$$

L'excrétion urinaire de 6-sulfatoxy-mélatonine et de cortisol a ensuite été exprimée sous forme de taux horaire d'excrétion (ng/heure) de la façon suivante :

$$\text{Taux d'excrétion (ng/h)} = \frac{\text{Quantité (ng)}}{\text{Temps depuis l'échantillon précédent (h)}} \quad (3)$$

B.II Calcul du point milieu

L'approche pour calculer le point milieu de la courbe de 6-sulfatoxy-mélatonine et de cortisol urinaire est décrite. La figure 23 illustre un exemple de calcul du point milieu de la 6-sulfatoxy-mélatonine.

- 1) Le taux d'excrétion moyen a été calculé pour chaque période de collecte urinaire (ligne pointillée horizontale de la figure 23) :

$$\text{Taux d'excrétion moyen (ng/h)} = \frac{\sum_{n=1}^N \text{Quantité (ng)}}{\text{Durée de la collecte (h)}} \quad (4)$$

- 2) Une courbe d'excrétion a ensuite été dessinée sur la base de ces prélèvements pour chaque période de collecte.
- 3) L'heure de montée (moment auquel le taux d'excrétion passe au-dessus du taux d'excrétion moyen) et l'heure de descente (moment auquel le taux d'excrétion passe au-dessous du taux d'excrétion moyen) ont été déterminées par interpolation linéaire (flèches bleues de la figure 23).
- 4) Finalement, le moment de survenue du point milieu d'excrétion fut calculé comme étant à mi-chemin entre l'heure de montée et de descente des niveaux de métabolites urinaires (triangle rouge de la figure 23).

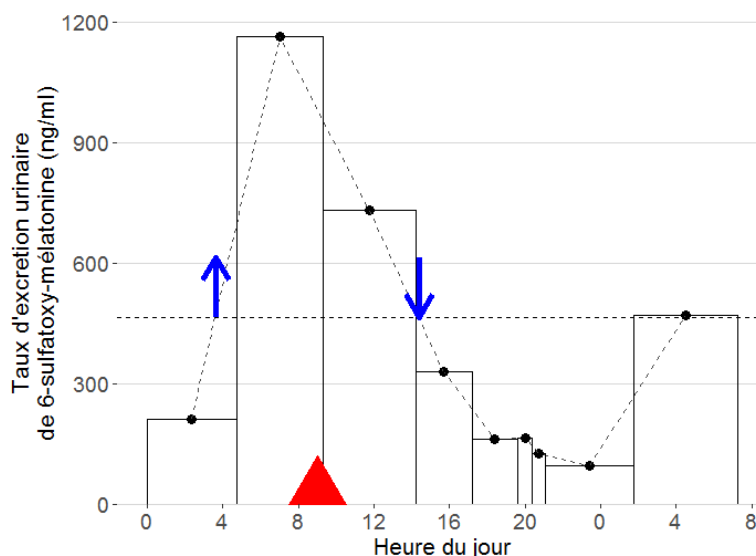


Figure 23. Représentation graphique du point milieu d'une courbe d'excrétion urinaire de 6-sulfatoxy-mélatonine. Chacune des barres représente le taux d'excrétion de 6-sulfatoxy-mélatonine urinaire entre 2 collectes urinaires. La largeur de chaque barre représente l'intervalle entre 2 collectes urinaires. Les cercles noirs reliés par des lignes pointillées représentent le taux d'excrétion entre 2 collectes urinaires. La hauteur de la barre représente le taux moyen horaire d'excrétion de 6-sulfatoxy-mélatonine entre 2 collectes. L'heure de montée (flèche pointant vers le haut) et l'heure de descente (flèche pointant vers le bas) de la courbe d'excrétion urinaire de 6-sulfatoxy-mélatonine sont représentées par les flèches bleues, tandis que le point milieu entre ces 2 flèches est représenté par un triangle rouge.