

Annexe du Tableau de réponses aux commentaires : Sommaire des données scientifiques et de l'analyse comparative à l'appui du document REGDOC-2.2.4, *Aptitude au travail: Gérer la fatigue des travailleurs*

Table des matières

1.0	Contexte	2
1.1	La fatigue affecte la performance humaine.....	3
2.0	Justification des exigences et de l'orientation énoncées dans le REGDOC-2.2.4.....	4
2.1	Éléments programmatiques	4
2.2	Limites relatives aux quarts de travail et aux périodes de récupération.....	6
2.2.1	Incidence du moment de la journée sur le rendement cognitif.....	8
2.2.2	Périodes de sommeil quotidiennes suffisantes	9
2.2.3	Limiter l'accumulation du manque de sommeil	10
2.2.4	Récupération à la suite d'un manque de sommeil	11
2.2.5	Limiter la moyenne d'heures hebdomadaires.....	12
2.2.6	Données de l'analyse comparative	13
2.2.7	Classement des limites pour les heures de travail et les périodes de récupération 21	
3.0	Conclusions.....	23
	Références	24

Sommaire des données scientifiques et de l'analyse comparative à l'appui du document REGDOC-2.2.4, Aptitude au travail: *Gérer la fatigue des travailleurs*

1.0 Contexte

La performance humaine est un facteur clé qui contribue à la sûreté et à la sécurité des installations nucléaires. C'est pourquoi la CCSN exige des titulaires de permis qu'ils mettent en œuvre et tiennent à jour des programmes de performance humaine. Ces programmes abordent une vaste gamme de facteurs ayant une incidence sur la performance humaine afin de minimiser le potentiel d'erreurs pouvant nuire à la sûreté et la sécurité nucléaires. L'un de ces facteurs est l'aptitude au travail des travailleurs.

Il est largement reconnu que la fatigue a des effets sur l'aptitude au travail parce qu'elle pourrait nuire à de nombreux aspects de la performance humaine. Par conséquent, les titulaires de permis doivent tenir compte de la fatigue dans leur approche visant à s'assurer que les travailleurs sont aptes au travail.

Le REGDOC-2.2.4, Aptitude au travail, *Gérer la fatigue des travailleurs* précise les exigences et l'orientation en matière de gestion de la fatigue des travailleurs visant à minimiser le potentiel d'erreurs pouvant nuire à la sûreté et sécurité nucléaires. La gestion de la fatigue des travailleurs englobe les mesures de gestion des risques associés à la fatigue, y compris celles permettant de gérer le degré de fatigue que les travailleurs ressentent au travail et de réduire la probabilité et les conséquences des erreurs attribuables à la fatigue (1). Aux fins du présent document d'application de la réglementation (REGDOC), la fatigue est définie comme un état de réduction du rendement physique ou mental entraîné par le manque de sommeil, des périodes de veille prolongées, les phases du cycle circadien ou la charge de travail.

Le présent sommaire des données scientifiques et de l'analyse comparative vise à informer la Commission et à répondre à un éventail de commentaires reçus à l'occasion de consultations publiques. Le REGDOC a été modifié pour tenir compte des nombreuses préoccupations soulevées par les parties intéressées lors des consultations publiques au sujet des besoins opérationnels et du fardeau administratif, tout en maintenant un fondement défendable axé sur une analyse comparative et des recherches scientifiques à l'égard des effets de la fatigue sur la performance humaine. Les limites relatives aux heures de travail et aux périodes de récupération énoncées à la section 4 du REGDOC ont été comparées aux conclusions d'études scientifiques ainsi qu'aux exigences d'autres organismes de réglementation et ont été mises à l'essai au moyen d'un modèle biomathématique de la fatigue. Des rapports de recherche indépendants commandés par la CCSN sur plusieurs années ont été pris en compte dans l'élaboration du REGDOC (2; 3; 4).

Les constatations suivantes à l'égard des effets de la fatigue sur la performance humaine constituent le fondement des dispositions du REGDOC.

1.1 La fatigue affecte la performance humaine

- Une diminution de la performance humaine survient, peu importe si la fatigue est liée à un manque de sommeil aigu, à la fatigue cumulative ou au rythme circadien.
 - La fatigue aiguë est causée par une période d'éveil prolongée, le niveau de fatigue augmentant en fonction du temps écoulé depuis le dernier épisode de sommeil (5).
 - La fatigue cumulative est causée par une légère restriction du sommeil sur un ensemble de jours, qui mène à une récupération insuffisante de la fatigue aiguë (6; 7; 8).
 - Le rythme circadien du cycle de sommeil et d'éveil fait varier le niveau de fatigue selon le moment de la journée, le niveau de fatigue le plus important étant ressenti très tôt le matin (5).
 - Les effets négatifs sur la performance humaine sont exacerbés lorsque de multiples facteurs contribuant à la fatigue s'additionnent, notamment le fait de travailler à 4 h du matin, à la suite d'une période prolongée d'éveil ou de plusieurs jours consécutifs de restriction du sommeil (9; 10).

- Une augmentation de la fatigue se traduit par une dégradation de nombreux aspects de la performance humaine (11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18), par exemple les capacités suivantes : vigilance (19; 6; 20; 21; 22; 7; 23; 13); mémoire (21; 24; 25; 13; 26); prise de décisions (27; 28); communication (27); anxiété (29; 23); humeur (21; 16; 23).
- Un examen des effets du manque de sommeil sur la prise de décisions souligne les domaines de préoccupations suivants : *l'absence d'innovation, le manque de souplesse des processus cognitifs, la distraction ou l'attention déraisonnable accordée à des préoccupations d'importance secondaire, une confiance excessive à l'égard des stratégies déjà utilisées, la réticence à essayer de nouvelles stratégies, une mémoire peu fiable des dates d'événements, un changement d'humeur, y compris la perte d'empathie envers les collègues, et l'incapacité de composer avec les événements imprévus ou inattendus* [traduction] (27 p. 246).
- L'éventail des fonctions cognitives affectées permet de conclure que la fatigue nuit à *certaines capacités essentielles au rendement cognitif en général* (30 p. 654). Les changements liés à la fatigue sur le plan de la fonction cognitive ont été décrits comme un « ralentissement des processus cognitifs » [traduction] (20).
- La fatigue... *ne constitue pas une condition binaire selon laquelle une personne est soit reposée et ne ressent aucun effet négatif sur le plan de la performance, soit fatiguée, ressentant d'importants effets négatifs sur le plan de la performance. Il existe plusieurs niveaux de fatigue et d'effets négatifs de la fatigue sur la performance* [traduction] (31 p. 12). *Plus le sommeil est perturbé ou réduit, peu importe la raison, plus une personne risque de s'endormir par inadvertance* [traduction] (32 p. 102).
- Un examen des événements liés à l'entretien des aéronefs a permis de constater que la fréquence des erreurs dues aux compétences suit le rythme circadien et présente un pic entre 2 h 30 et 3 h. Les auteurs formulent l'avertissement suivant : *les techniciens d'entretien courent plus de risque de commettre des erreurs causées par une distraction découlant du défaut d'exécuter les plans d'action attendus* [traduction] très tôt le matin (33 p. 1304).
- Les travailleurs du nucléaire au Canada souffrent de manque de sommeil, de fatigue et de symptômes liés à la fatigue qui ressemblent à ceux visés par les ouvrages scientifiques (2; 34).

2.0 Justification des exigences et de l'orientation énoncées dans le REGDOC-2.2.4

Les exigences et l'orientation énoncées dans le REGDOC sont présentées en deux sections. Les éléments programmatiques se trouvent à la section 3 du REGDOC, et les limites prescrites pour les heures de travail ainsi que les périodes de récupération, à la section 4.

Les éléments programmatiques énoncés à la section 3 sont applicables à la population générale. La population générale comprend les travailleurs dont les activités de travail posent un risque potentiel pour la sûreté ou la sécurité nucléaire.

Les limites relatives aux heures de travail et aux périodes de récupération énoncées à la section 4 s'appliquent à un plus petit sous-groupe de travailleurs occupant un poste important sur le plan de la sûreté, qui est défini comme un *poste qui joue un rôle dans l'exploitation et pour lequel la baisse de la performance pourrait causer un incident grave ayant un impact sur l'environnement, le public, la santé et la sécurité des travailleurs et d'autres personnes sur le site ou sur la sûreté et la sécurité de l'installation* [traduction]. La plupart des limites relatives aux heures de travail et aux périodes de récupération énoncées à la section 4 sont axées sur le travail de nuit et les quarts prolongés de plus de 10 heures, lesquels sont largement reconnus comme des facteurs de fatigue.

La justification des exigences et de l'orientation énoncées dans le REGDOC est présentée dans les sections qui suivent.

2.1 Éléments programmatiques

La fatigue en milieu de travail constitue un risque potentiel qui doit faire l'objet de mesures de gestion, particulièrement dans le cadre d'activités ayant lieu 24 heures sur 24, 7 jours sur 7 et qui exigent des horaires de travail qui nuisent au sommeil (par exemple, quarts prolongés, quarts rotatifs, quarts de nuit) (30; 4; 35). En plus de mesures permettant de réduire les situations de fatigue, d'autres stratégies d'atténuation sont nécessaires pour réduire la probabilité et les conséquences des erreurs dues à la fatigue (35; 8; 36; 37). Dans un examen réalisé pour le compte de la CCSN, un tiers fournisseur recommandait que l'efficacité des exigences sur les heures de travail et la récupération soit renforcée en mettant en œuvre des systèmes de gestion des risques liés à la fatigue (4).

Même si les limites relatives aux heures de travail sont respectées, il peut arriver qu'un travailleur éprouve de la fatigue. Puisque des facteurs au travail et en dehors des heures de travail ont un impact sur la fatigue, les travailleurs et l'employeur partagent la responsabilité de la gestion de la fatigue.

Les exigences et l'orientation programmatiques énoncées dans le REGDOC abordent un vaste ensemble d'éléments nécessaires à la gestion des risques liés à la fatigue (8; 36; 38; 39; 40). Le cadre conceptuel présenté à la figure 1 donne un aperçu de plusieurs moyens qui visent à prévenir les erreurs dues à la fatigue et qui sont abordés dans le REGDOC (36). Aux fins du REGDOC, la gestion de la fatigue des travailleurs comprend des mesures pour gérer le niveau de

fatigue qu'éprouvent les travailleurs au travail et à réduire la probabilité et les conséquences des erreurs liées à la fatigue.

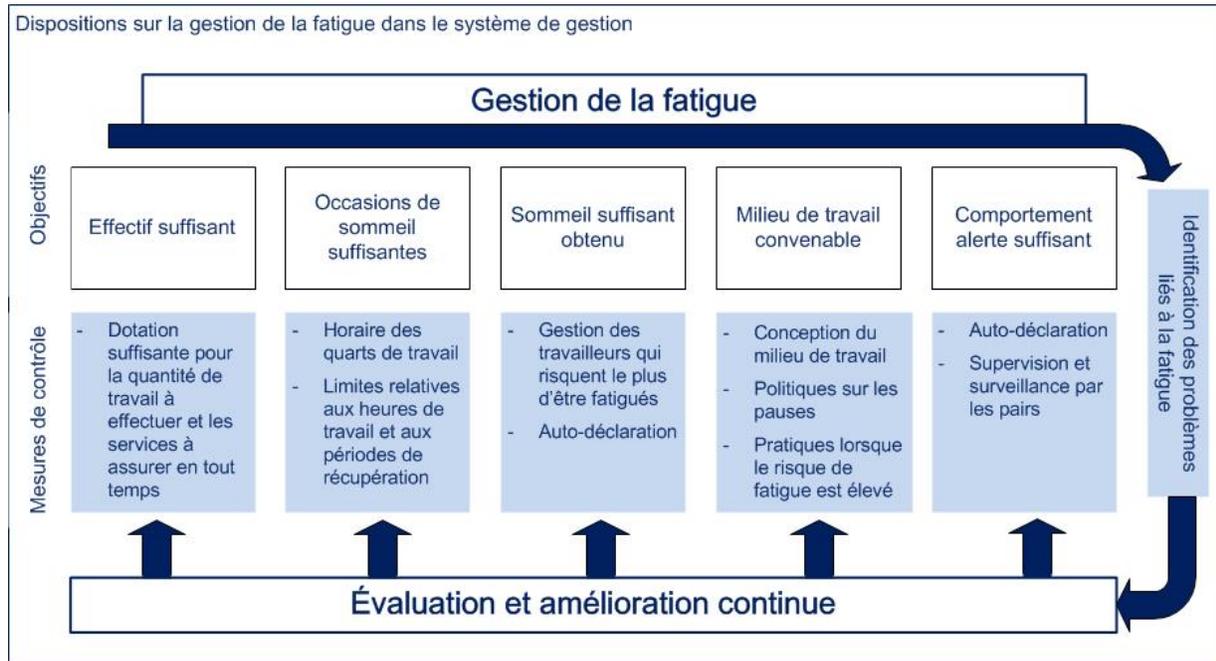


Figure 1 : Cadre conceptuel appuyant les dispositions visant la gestion de la fatigue des travailleurs [fondé sur le document de référence 36]

Les niveaux de dotation, qui ont une incidence sur les niveaux d'heures supplémentaires, constituent un facteur de fatigue important (36; 3). Dans une étude réalisée pour le compte de la Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA), on lance l'avertissement suivant : le manque d'effectif *constitue vraisemblablement le principal facteur de fatigue dans le contexte d'activités continues. Généralement, le manque d'effectif d'une exploitation génère des niveaux élevés d'heures supplémentaires pour les employés, réduisant ainsi le nombre de jours de repos et contribuant à la fatigue* [traduction] (3 p. 14). Dans le contexte des éléments programmatiques, le REGDOC oblige les titulaires de permis à réaliser des évaluations périodiques visant à vérifier que les niveaux de dotation sont suffisants pour permettre la conformité aux limites relatives aux heures de travail et aux périodes de récupération.

Les horaires de travail élaborés par l'organisation influent les occasions suffisantes de dormir, car ils établissent les limites relatives au moment et à la durée des périodes de sommeil (41). Les principaux éléments de l'horaire de travail ayant une influence sur les occasions de dormir sont le travail de nuit ainsi que la durée, la fréquence et l'enchaînement des quarts successifs. La section 2.2 justifie de façon plus approfondie les exigences prévues par le REGDOC en matière d'heures de travail et de périodes de récupération.

Le caractère suffisant du sommeil obtenu est également influencé par des facteurs non liés au travail. Par exemple, certaines situations ou conditions, comme des troubles du sommeil ou des

affections, ont une incidence sur la qualité et la quantité du sommeil obtenu par une personne et, par conséquent, accroissent la probabilité de ressentir un niveau élevé de fatigue (14; 42; 43; 44; 45). Le REGDOC aborde le caractère suffisant du sommeil obtenu par l'intermédiaire de processus visant à cerner et à gérer la fatigue ainsi que d'attentes sur le plan de la formation initiale et continue et de la sensibilisation.

Le milieu de travail peut être conçu de manière à favoriser la vigilance et à atténuer les risques associés à la fatigue. Par exemple, au milieu de la nuit, lorsqu'il est normal de ressentir un niveau de fatigue accru, des mesures administratives additionnelles peuvent être mises en œuvre, comme une supervision accrue et une vérification indépendante. Les périodes de repos qui comprennent une occasion de dormir constituent une stratégie fondée sur des données probantes visant à réduire le niveau de fatigue et à améliorer la performance humaine (46; 47; 48; 36). Le REGDOC précise qu'il n'existe pas d'obstacle réglementaire empêchant les titulaires de permis d'autoriser à leur personnel à dormir sur le lieu de travail en tant que mesure de prévention de la fatigue, dans la mesure où les conditions appropriées sont établies. La section 3.2 du REGDOC comprend de l'orientation liée au milieu de travail.

Le dernier moyen de prévention de la fatigue présenté à la figure 1, qui porte sur une vigilance suffisante, exige que les superviseurs et les travailleurs reconnaissent les signes d'un niveau élevé de fatigue, chez eux-mêmes et leurs pairs, afin que des mesures appropriées puissent être prises. Toutefois, déceler chez soi-même un niveau élevé de fatigue peut s'avérer difficile, car les personnes peuvent ne pas percevoir l'incidence de la fatigue sur leur performance (7). Le REGDOC comprend des exigences sur la formation et la sensibilisation ainsi que sur le processus à suivre si un travailleur est incapable de remplir ses fonctions de façon compétente et sécuritaire en raison de la fatigue.

Le REGDOC prévoit également des mécanismes permettant de cerner et de résoudre les problèmes liés à la fatigue des travailleurs, de déterminer dans quelle mesure le système de gestion est efficace pour gérer les risques associés à la fatigue des travailleurs ainsi que pour déceler des occasions d'amélioration continue.

2.2 Limites relatives aux quarts de travail et aux périodes de récupération

Les horaires de travail contribuent de manière importante à la fatigue puisqu'ils établissent les limites relatives au moment et à la durée du sommeil. Pour cette raison, le REGDOC comprend des exigences axées sur la performance en fonction de l'horaire de travail et applicables à l'ensemble de la population, qui sont présentées à la figure 2. Le moment de la journée auquel les personnes travaillent et dorment constitue un facteur sous-jacent touchant tous les objectifs axés sur la performance. Les exigences axées sur la performance visent à veiller à ce que les horaires de travail offrent suffisamment d'occasions de dormir.

Les limites prescrites relatives aux heures de travail et aux périodes de récupération énoncées aux sections 4.2 et 4.3 du REGDOC établissent les limites absolues applicables au sous-groupe des travailleurs qui occupent des postes importants sur le plan de la sûreté. Le REGDOC formule également de l'orientation selon laquelle les titulaires de permis devraient établir des limites

administratives empêchant les travailleurs de constamment travailler le nombre maximal permis d'heures de travail.

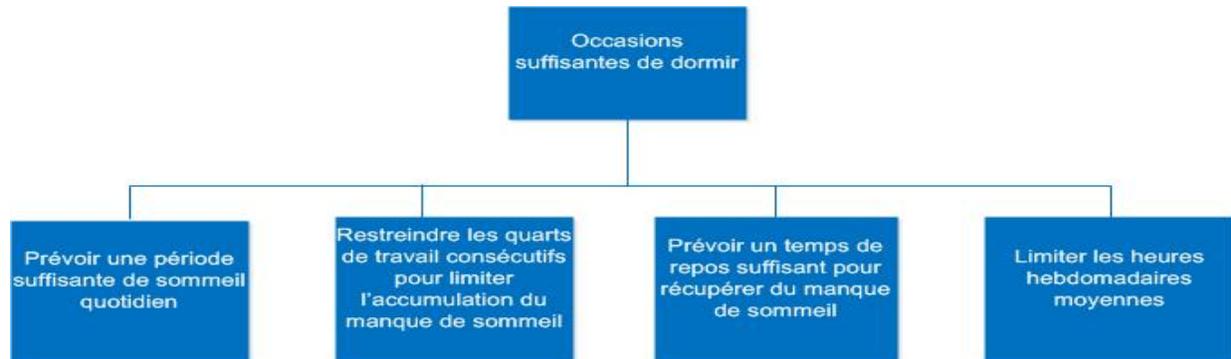


Figure 2 : Objectifs axés sur la performance appuyant les dispositions à l'égard des occasions suffisantes de dormir

Les sections qui suivent présentent des données appuyant chaque objectif axé sur la performance. Ces objectifs sont fondés sur les constatations scientifiques suivantes :

- le rendement cognitif varie selon le moment de la journée et est à son plus bas la nuit
- les périodes d'éveil prolongées affectent le rendement cognitif
- le manque de sommeil sur plusieurs jours consécutifs affecte le rendement cognitif
- le sommeil permet au corps de récupérer

2.2.1 Incidence du moment de la journée sur le rendement cognitif

- Les rythmes circadiens sont des changements cycliques observés quotidiennement chez les humains selon de multiples variables, comme la température, les hormones, la structure du sommeil et la fatigue (15). Le système circadien comprend un dispositif interne synchronisé au rythme des journées de 24 heures au moyen de repères de temps, dont la lumière constitue l'un des principaux (15).
- Le moment de la journée influence considérablement la performance humaine, la vigilance et la propension au sommeil.
 - *La probabilité de dormir est à son plus haut niveau la nuit et à son plus bas niveau le jour* [traduction] (50 p. 654).
 - Le niveau de fatigue le plus élevé est ressenti très tôt le matin (5; 21).
 - *Les quarts de nuit génèrent plus de somnolence que le travail de jour, les quarts de soir et même les quarts rotatifs* [traduction] (21 p. 785).
 - *Le système circadien s'efforce de nous maintenir endormis la nuit et éveillés le jour* [traduction] (49 p. 553). Par conséquent, la fatigue durant les quarts de nuit est causée à la fois par le creux du système circadien et par un sommeil de jour plus court et de moindre qualité que celui obtenu la nuit (30).
- La période allant de 2 h à 6 h constitue *un moment où le corps est programmé pour dormir et durant lequel la performance diminue* [traduction] (51 p. 3). Dans le domaine du transport aérien, cette période est communément appelée « creux circadien » et fait l'objet de restrictions additionnelles (51; 52).
- La performance à la fin d'un quart de nuit de 12 heures est inférieure à la performance au début d'un quart de nuit ou encore au début ou à la fin d'un quart de jour de 12 heures (53).
- Les personnes peuvent se sentir somnolentes à tout moment de la journée; toutefois, une étude réalisée auprès des infirmières en soins intensifs a permis de démontrer que la somnolence et les épisodes de sommeil sont plus susceptibles de survenir entre minuit et 6 h (54).
- Les effets s'additionnent lorsque le creux du système circadien coïncide avec un manque de sommeil ou une période d'éveil prolongée (9).
 - *Un comité chargé d'évaluer des événements catastrophiques a conclu qu'un sommeil inadéquat, même aussi peu que 1 ou 2 heures de moins que le sommeil habituel, peut considérablement exacerber le risque d'erreur dans les périodes vulnérables* [traduction] (1 à ~8 h) (32 p. 107).
- Les exigences les plus contraignantes prévues dans le REGDOC visent le travail de nuit en raison du risque accru de fatigue.

2.2.2 Périodes de sommeil quotidiennes suffisantes

Le REGDOC prévoit des limites à l'égard du nombre d'heures de travail permises au cours d'une période de 24 heures et d'une période de 48 heures ainsi qu'à l'égard de la période de récupération entre les quarts. Ces restrictions visent à limiter les périodes d'éveil prolongées en accordant chaque jour du temps aux travailleurs pour dormir.

Besoins quotidiens de sommeil

- Le fait de dormir moins de 7 heures par nuit est associé à *une diminution de la performance ainsi qu'à une augmentation des erreurs et du risque d'accident* [traduction] (55).
 - Seule une certaine proportion du temps entre les périodes de travail peut être consacrée au sommeil. En effet, les travailleurs profitent de ces moments pour se déplacer entre leur lieu de travail et leur foyer, pour respecter leurs obligations familiales et sociales, pour répondre à des besoins personnels (par exemple, préparation des repas, nutrition, hygiène) et pour se détendre avant d'aller dormir (56; 57).
- Selon un examen des données épidémiologiques publiées à l'égard du sommeil, de la performance et des accidents mettant en cause des véhicules automobiles, un groupe d'experts établi par le National Sleep Foundation Drowsy Driving Consensus Working Group a conclu que *les conducteurs ayant obtenu deux heures de sommeil ou moins dans les 24 heures précédentes ne sont pas aptes à conduire un véhicule motorisé* [traduction] (58 p. 96). Le groupe d'experts a également convenu que *l'obtention de seulement 3 à 5 heures de sommeil dans les 24 heures précédentes suffit à diminuer la performance de la plupart des conducteurs en santé* [traduction] (58 p. 96).
- La quantité de sommeil obtenue par une personne est liée au temps libre de travail entre les quarts et au moment de la période de récupération (59).
 - Plus le temps libre de travail augmente, plus les gens dorment. Par exemple, lorsque le temps passé au lit passe de 4 à 8 heures, le sommeil fait de même (60).
 - La durée du sommeil est liée au moment de la journée où une personne dort. Le sommeil qui débute pendant la journée dure moins longtemps que celui qui débute la nuit (61; 59).
- Les retours rapides, qui constituent le fait de disposer de moins de 11 heures de temps libre de travail entre les quarts, sont associés à l'insomnie, à une qualité et à une durée inférieures de sommeil ainsi qu'à une augmentation de la fatigue (62; 63; 57).

Effet de l'éveil prolongé sur le rendement cognitif

- Le manque de sommeil total à long terme mène à *un effet néfaste considérable dans la plupart des domaines cognitifs* [traduction] (22 p. 384).
 - L'effet des périodes d'éveil prolongées peut être modélisé par une augmentation de la somnolence, qui disparaît durant le sommeil (64).
 - Plus une personne demeure éveillée longtemps, plus elle risque de ressentir de la fatigue (5).
- Des études démontrent que les quarts de plus de 8 heures sont associés à un niveau supérieur de fatigue et à un niveau inférieur de performance que les quarts de 8 heures (65; 66). Un examen de 105 études axées sur les effets des quarts de 8 heures par rapport à ceux de 12 heures a permis de conclure que pour que *les quarts de travail prolongés soient considérés comme acceptables, il est essentiel de prévoir une planification et une structure*

appropriées ainsi que des occasions de repos suffisantes [traduction] (67 p. 132).

- Les études démontrent toutes une diminution marquée de la performance humaine après une période d'éveil de 17 à 18 heures (68; 69; 70).
 - Les tests de vigilance montrent, après une période d'éveil de 18 heures, une hausse de la variabilité de la performance ainsi que *de courts temps de réaction normaux combinés à de longs relâchements de l'attention (c'est-à-dire des erreurs d'omission) ainsi qu'à des réponses sans présence de stimulus (c'est-à-dire des erreurs de commission)* [traduction] (69 p. 263).
 - L'absence de réaction aux stimuli pendant 30 secondes, un phénomène appelé microsommeil, commence à survenir après une période d'éveil de 18 heures (70).
 - Selon un rapport de recherche élaborée pour la CCEA, *les études à cet égard démontrent clairement que la diminution évidente de la performance débute après 14 à 16 heures de travail. Une politique sur les heures supplémentaires qui permet d'excéder 16 heures consécutives de travail serait dangereuse* [traduction] (2).
- Les effets du manque de sommeil sont exacerbés lorsque la période d'éveil coïncide avec le creux du système circadien durant les quarts de nuit (10).

2.2.3 Limiter l'accumulation du manque de sommeil

Lorsque les personnes obtiennent sur plusieurs jours consécutifs moins de sommeil que ce dont elles ont besoin, le manque de sommeil s'accumule. En général, les personnes dorment moins lorsqu'elles travaillent des quarts de nuit que des quarts de jour; par conséquent, le manque de sommeil s'accumule plus rapidement chez les travailleurs des quarts de nuit. La diminution de la performance est proportionnelle au manque de sommeil accumulé.

Effet sur le rendement cognitif du manque de sommeil sur plusieurs jours consécutifs

- Selon une déclaration commune de l'American Academy of Sleep Medicine and Sleep Research Society, le fait de dormir moins de 7 heures par nuit est associé à *une diminution de la performance ainsi qu'à une augmentation des erreurs et du risque d'accident* [traduction] (55).
 - Les gens dorment moins les jours où ils travaillent par rapport aux jours de congé (71; 56; 72; 73).
 - Plusieurs études démontrent que de nombreux travailleurs de quarts dorment moins de 6 heures par période de 24 heures les jours de travail, en particulier ceux qui travaillent des quarts de nuit ou des quarts prolongés (74; 75; 76; 77; 78).
- Lorsque les personnes obtiennent moins de sommeil que ce dont elles ont besoin sur plusieurs jours consécutifs, le manque de sommeil s'accumule.
 - La diminution de la performance s'accumule sur plusieurs jours consécutifs lorsque le temps passé au lit est limité à 7 heures ou moins (7; 6). Cette diminution est proportionnelle au manque de sommeil accumulé (79; 7; 6; 80).
 - Une étude durant laquelle les périodes de sommeil ont été limitées à 4 ou 6 heures par nuit pendant 14 nuits a démontré l'érosion progressive de *l'efficacité de la performance sur le plan de la vigilance psychomotrice, de la mémoire de travail et des capacités cognitives, établissant des preuves convergentes des effets néfastes d'une restriction chronique du sommeil sur les fonctions cognitives* [traduction] (7 p. 124).

- Bien que la performance diminue après plusieurs jours consécutifs de restriction du sommeil, la subjectivité de l'évaluation de la somnolence n'augmente pas en fonction du nombre de jours consécutifs (7). Par conséquent, les personnes peuvent avoir l'impression de s'être adaptées à la restriction chronique du sommeil même si leur performance diminue.
- Selon les données, le risque de blessure et d'accident augmente avec chaque quart consécutif, tant pour les quarts de jour que de nuit (66).
 - Une série plus longue de quarts consécutifs entraîne davantage de fatigue (81). L'augmentation du risque est supérieure après plusieurs quarts de nuit consécutifs que plusieurs quarts de jour consécutifs (82).

Effet sur le rendement cognitif du manque de sommeil sur plusieurs quarts de nuit consécutifs

- Moins de quarts de nuit consécutifs sont permis en raison de l'augmentation de la fatigue qui s'accumule lors du travail de nuit.
 - *Le manque de sommeil s'accumule, et son incidence s'accroît pour chaque quart de nuit successif. Il en découle une accumulation du manque de sommeil homéostatique combiné aux effets du décalage du système circadien, deux facteurs ayant une incidence considérable sur la productivité et la sûreté des travailleurs de quarts [traduction] (83 p. 785).*
 - *... le manque de sommeil chronique accroît le taux de diminution de la performance au fil de la période d'éveil, en particulier lorsque le système circadien est normalement en mode « de nuit » [traduction] (9).*
 - *... le manque de sommeil qui s'accumule à la suite d'une série de quarts de nuit appuie l'imposition d'une limite du nombre de quarts de nuit consécutifs en vue de permettre la récupération [traduction] (4 p. 22).*

2.2.4 Récupération à la suite d'un manque de sommeil

Les périodes de récupération permettent aux personnes de récupérer à la suite d'un manque de sommeil accumulé à l'occasion de plusieurs quarts successifs. La période de récupération à la suite de quarts de nuit tient également compte de l'ajustement nécessaire du système circadien pour reprendre un horaire de jour.

Récupération

- Les périodes de récupération minimales visent à donner aux travailleurs le temps de récupérer à la suite d'un manque de sommeil accumulé à l'occasion de plusieurs quarts successifs.
 - La récupération, particulièrement la récupération de la fonction cognitive, nécessite une période de sommeil suffisante et de bonne qualité (8; 19).
 - La quantité de sommeil obtenu par une personne est liée au temps libre dont elle dispose pour dormir et au moment de la journée où la période de sommeil débute (84; 73).
- Si les périodes de récupération suivant un manque de sommeil sont insuffisantes, la fatigue et la diminution de la performance liée à la fatigue demeurent présentes au début d'une nouvelle série de quarts de travail (85; 19).

- Tant les travailleurs de jour que les travailleurs de quarts dorment en moyenne davantage les jours où ils ne travaillent pas (71; 56).
 - Les personnes qui travaillent par quarts sont plus susceptibles que les autres de dormir moins de 6 heures par jour de travail (56).
- Selon un rapport élaboré par une tierce partie pour le compte de la CCEA, lorsque les *employés font des heures supplémentaires au lieu de profiter de leurs jours de congé prévus, ils obtiennent moins d'occasions de récupérer* [traduction] (3 p. 15). Il est également recommandé dans le rapport qu'*un travailleur de quart ne devrait pas travailler plus de sept quarts de 8 heures avant d'obtenir un jour de congé* [traduction] (3 p. 13).

Récupération à la suite de quarts de nuit

- La période de récupération à la suite d'une série de quarts de nuit doit tenir compte du manque de sommeil accumulé et de l'ajustement nécessaire du système circadien pour passer des quarts de nuit aux quarts de jour (2; 86; 87).
- Lorsque la société d'État Ontario Hydro a mis en place les quarts de 12 heures, elle a réalisé une étude axée sur les effets d'une période de récupération de 72 heures après trois quarts de nuit ou plus par comparaison avec une période de récupération de 48 heures (88). L'étude a permis de conclure que, *après une période de congé de 48 heures, les niveaux de vigilance sont considérablement inférieurs à ceux mesurés après une période de congé de 72 heures* [traduction]. De plus, les registres de sommeil *indiquent qu'un manque de sommeil est encore ressenti après une période de congé de 48 heures* [traduction]. À la suite de cette étude, Ontario Hydro a modifié l'horaire des postes afin d'inclure *un congé de 72 heures après trois quarts de nuit consécutifs ou plus* [traduction] (88).
- Les systèmes permanents de quarts de nuit ne permettent pas un ajustement suffisant du système circadien de la plupart des personnes pour leur assurer les avantages requis sur le plan de la santé et de la sûreté (89).
 - ... *il est peu probable que les travailleurs dorment durant le jour lors de leurs jours de congé* [traduction] (4 p. 30), ce qui restreint leur capacité à s'ajuster à un horaire permanent de quarts de nuit.

2.2.5 Limiter la moyenne d'heures hebdomadaires

Au fil de l'augmentation des heures de travail hebdomadaires, les occasions de récupération diminuent. Les limites hebdomadaires ainsi que les limites à long terme constituent un moyen de contrer la fatigue accumulée.

Limite des heures hebdomadaires en tant que protection contre la fatigue accumulée

- Les personnes qui travaillent davantage d'heures par semaine sont plus susceptibles d'obtenir moins d'heures de sommeil par jour (71; 90; 56). Par exemple, selon une étude de Hale, les personnes qui travaillent plus de 50 heures/semaine courent un risque accru de dormir moins de 6,5 heures par jour par comparaison avec celles qui travaillent moins de 35 heures/semaine (2005).
- Un plus grand nombre d'heures de travail par semaine est associé à un risque accru
 - d'accidents du travail (91; 92; 93; 94);
 - d'accidents (95; 66);

- d'erreurs (96; 97; 98).
- Une étude a permis de démontrer qu'il est plus probable que les personnes impliquées dans des accidents de la route mettant en cause la fatigue travaillent 60 heures/semaine ou encore par quarts de nuit ou d'autres horaires (par exemple, quarts rotatifs; nombreuses heures sur une longue période) que les groupes témoins n'ayant pas été impliqués dans de tels accidents (95).
- Dans un rapport de recherche réalisé pour le compte de la CCSN, on recommandait une limite continue de 60 heures sur une période de 7 jours (4).

Limites des heures hebdomadaires sur une période prolongée

- La limite des heures de travail sur une période prolongée constitue un moyen de contrer la fatigue accumulée tout en permettant une marge de manœuvre à court terme sur le plan de l'horaire (99).
- À la suite d'un examen des limites d'heures de travail, la Commission européenne recommande *de calculer les moyennes d'exposition au travail sur de courtes périodes de référence, afin d'éviter une accumulation induite des effets néfastes durant les périodes où la charge de travail est considérable ou lorsque les heures prolongées sont élevées dans le contexte de la période de référence* [traduction] (100 p. 34).
- La Nuclear Regulatory Commission (NRC) des États-Unis a signalé que le personnel de sécurité *remettait en question son aptitude et sa capacité d'exécuter les tâches requises en raison des effets néfastes de la fatigue accumulée* [traduction] à la suite des attentats du 11 septembre 2001. Un examen réalisé par la NRC a permis de *confirmer que ces personnes travaillaient jusqu'à 60 heures/semaine durant de longues périodes* [traduction] (101 p. 17135).

2.2.6 Données de l'analyse comparative

Le personnel de la CCSN a examiné les exigences réglementaires des organismes de réglementation nucléaire du monde entier et d'un éventail d'autres industries, notamment le transport aérien, le transport routier, les produits pétrochimiques et les pipelines. Il a communiqué directement avec les organismes de réglementation nucléaire de plusieurs pays (par exemple, États-Unis, Royaume-Uni, Roumanie, Chine, Corée, Suisse, France, Suède, Finlande) ainsi qu'avec Transports Canada et NAV CANADA.

Les tableaux 1 à 3 présentent certaines des données comparatives prises en compte.

Voici certaines tendances observées des données comparatives :

- La *Directive sur le temps de travail* de l'Union européenne (UE) comprend des limites rigoureuses relatives aux heures de travail et aux périodes de récupération applicables dans tous les pays de l'UE. Ces derniers tendent à se fier aux exigences nationales applicables à tous les travailleurs plutôt que d'élaborer leurs propres exigences liées à la gestion de la fatigue. Par comparaison, au Canada, il n'existe aucune norme de référence nationale applicable à tous les titulaires de permis réglementés par la CCSN.
- La plupart des compétences exigent que les travailleurs disposent de 8 à 11 heures de temps libre de travail dans une période de 24 heures ou entre les quarts (voir le tableau 1).

- Très peu de compétences ont limité les heures pouvant être travaillées dans une période de 48 heures. Selon le REGDOC, cette limite vise à empêcher la tenue de deux quarts consécutifs de 16 heures. La NRC des États-Unis, qui exige également une période de récupération minimale de 8 heures entre les quarts, a elle aussi établi une limite applicable aux périodes de 48 heures.
- De nombreuses compétences ont limité la moyenne d'heures hebdomadaires calculées sur une période précise.
 - La *Directive sur le temps de travail* de l'UE stipule que les pays membres doivent veiller à ce que *la moyenne des heures de travail pour chaque période de sept jours, y compris les heures supplémentaires, ne dépasse pas 48 heures* [traduction], en plus d'une période de référence d'au plus quatre mois pour l'établissement de la moyenne. Par conséquent, les travailleurs des installations nucléaires européennes profitent de cette limite ou d'une limite plus rigoureuse encore (par exemple, selon le *Working Time Regulations* du Royaume-Uni, 48 heures/semaine en moyenne sur 17 semaines; selon le code du travail de la Roumanie, 48 heures/semaine en moyenne sur 3 mois; selon le *Code du travail* de la France, 46 heures/semaine en moyenne sur 12 semaines).
- L'exigence de 1 jour de congé par période de 7 jours est commune à l'échelle internationale (102).
- Plusieurs compétences appliquent des restrictions additionnelles au travail de nuit. Par exemple, la *Directive sur le temps de travail* de l'UE stipule que *les heures normales de travail des travailleurs de nuit ne doivent pas dépasser en moyenne 8 heures par période de 24 heures* [traduction] (103).
 - L'Organisation internationale du travail (OIT) recommande que, lorsque le travail par quart comprend du travail de nuit, *une période de repos d'au moins 11 heures entre les quarts soit garantie, dans la mesure du possible* [traduction] (104).
- Les limites relatives aux heures de travail applicables aux pilotes conformément au *Règlement de l'aviation canadien*, publié en 1996, font actuellement l'objet d'un examen et d'une mise à jour (105). Cette mise à jour permettra de tenir compte des normes et des pratiques recommandées de gestion de la fatigue de l'Organisation de l'aviation civile internationale, lesquelles ont été publiées en 2011 (38).

Limites relatives aux heures de travail applicables aux sites à sécurité élevée d'autres compétences

- En vertu de lois de l'Ontario, du Nouveau-Brunswick et du Canada, une période de repos hebdomadaire d'au moins 24 heures consécutives est obligatoire. Toutefois, les lois sur les normes d'emploi ne font pas de distinction entre le travail de jour ou de nuit ou encore les quarts normaux de 8 heures ou les quarts prolongés de 12 heures.
 - La *Loi de 2000 sur les normes d'emploi* de l'Ontario et le *Code canadien du travail* prévoient des limites quant au nombre d'heures travaillées dans une journée ou une semaine, mais la *Loi sur les normes d'emploi* du Nouveau-Brunswick stipule que « *le nombre d'heures qu'un salarié peut travailler dans une journée, une semaine ou un mois n'est pas limité* » (article 14).

Tableau 1 : Analyse comparative des limites quotidiennes et des périodes de récupération d'autres compétences

Lois	Types de travailleurs	Limite sur 24 heures (heures au travail)	Limite sur 48 heures	Périodes de récupération	
				Temps libre de travail par période de 24 heures	Temps libre de travail entre les quarts
<i>Directive sur le temps de travail de l'UE</i>	Tous les travailleurs en Europe, y compris les travailleurs du nucléaire	S.O. ¹	S.O.	11	S.O.
<i>Code du travail</i>	Tous les travailleurs en France, y compris les travailleurs du nucléaire	12	S.O.	11	S.O.
<i>Loi de 2000 sur les normes d'emploi de l'Ontario</i>	Tous les travailleurs en Ontario (à l'exception des travailleurs exemptés)	S.O.	S.O.	11	S.O.
<i>Règlement de l'aviation canadien (RAC)</i>	Pilotes canadiens, gros transporteurs	14	S.O.	S.O.	8+ ²
<i>Règlement sur les heures de service des conducteurs de véhicule utilitaire</i>	Transporteurs routiers (Canada, au sud du 60° parallèle)	14	26	10 (dont 8 doivent être consécutives)	S.O.
NRC des États-Unis, partie 26 du code des règlements fédéraux 10 CFR	Travailleurs du nucléaire des États-Unis	16	26	S.O.	8

¹ S.O. indique que la législation ne comprend pas une telle exigence

² Les pilotes canadiens doivent bénéficier « de la possibilité d'obtenir au moins huit heures de sommeil consécutives dans un local approprié ainsi que le temps requis pour s'y rendre et en revenir et le temps requis pour les soins d'hygiène personnelle et pour les repas »

REGDOC-2.2.4	Sites des postes importants sur le plan de la sûreté, sites à sécurité élevée	16	28	S.O.	83
Federal Aviation Administration (FAA) des États-Unis, partie 117 du code des règlements fédéraux 14 CFR	Pilotes américains	9 à 14 ⁴ (19)	S.O.	S.O.	10

³ Orientation prévue par le projet de REGDOC : *Un travailleur devrait normalement avoir un repos de 11 heures consécutives entre les quarts. Une période de récupération de 8 heures devrait être rarement utilisée (par exemple, s'il est nécessaire de pourvoir un poste de l'effectif minimal; lorsque la période de récupération a lieu la nuit alors que le rythme circadien du corps favorise le sommeil).*

⁴ Les périodes de service de vol permises pour les pilotes américains dépendent de l'heure du début de la période et du nombre de segments de vol; si certaines conditions sont respectées (par exemple, davantage de membres d'équipage, couchettes, occasions de dormir durant le vol), les périodes de service de vol permises peuvent augmenter jusqu'à, au plus, 19 heures.

Tableau 2 : Analyse comparative des limites à long terme

Lois	Types de travailleurs	Heures/semaine	Court terme	Année
Loi fédérale sur le travail dans l'industrie, l'artisanat et le commerce	Tous les travailleurs en Suisse, y compris les travailleurs du nucléaire	49 (de manière provisoire, sinon 45)	S.O. ⁵	140 heures supplémentaires
<i>Code du travail</i>	Tous les travailleurs en France, y compris les travailleurs du nucléaire	60 (avec autorisation)	46 heures/semaine (avec autorisation) en moyenne sur 12 semaines (44 pour le travail de nuit)	1 607 heures
Code du travail de la Roumanie	Tous les travailleurs en Roumanie, y compris les travailleurs du nucléaire	48 (une moyenne sur 3 mois peut être faite)	48 heures/semaine en moyenne sur 3 mois	S.O.
États-Unis, partie 117 du code des règlements fédéraux 14 CFR; Règlement 859/2008 de la Commission européenne (EU-OPS, sous-partie Q ⁶)	Pilotes américains et européens	60 heures ⁷	47,5 heures/semaine en moyenne sur 4 semaines (190 heures de service de vol en 28 jours)	S.O.
CCSN, REGDOC-2.2.4	Travailleurs occupant des postes importants sur le plan de la sûreté, sites à sécurité élevée	60 heures sur une période fixe de 7 jours ou 120 heures sur une période continue de 14 jours	54 heures en moyenne sur une période fixe de 13 semaines ou une période continue de 18 semaines	S.O.
NRC des États-Unis, partie 26 du code des règlements fédéraux 10 CFR	Travailleurs du nucléaire des États-Unis	72	54 heures/semaine en moyenne sur 6 semaines ⁸	S.O.

⁵ S.O. indique que la législation ne comprend pas une telle exigence

⁶ Des limites applicables à une période de 7 jours et de 28 jours sont également prévues par le règlement 83/2014 de la Commission européenne lié aux opérations aériennes

⁷ Transports Canada propose de nouvelles limites applicables aux pilotes semblables à celle des États-Unis et de l'UE (105).

⁸ Les titulaires de permis de la NRC des États-Unis peuvent choisir une limite d'une moyenne de 54 heures/semaine sur 6 semaines en remplacement de l'exigence relative au nombre minimal de jours de congé.

<i>Règlement sur les heures de service des conducteurs de véhicule utilitaire du Canada</i>	Transporteurs routiers canadiens	–cycle de 1 semaine : 70 heures en 7 jours (art. 26) OU –cycle de 2 semaines : 120 heures en service en 14 jours ou 24 heures consécutives de congé après 70 heures en service	S.O.	S.O.
---	---	--	------	------

Tableau 3 : Analyse comparative des limites relatives aux quarts consécutifs et aux périodes de récupération

Lois	Type de travailleurs	Quarts consécutifs	Périodes de récupération	Limites relatives aux quarts de nuit consécutifs	Périodes de récupération suivant les quarts de nuit
<i>Directive sur le temps de travail de l'UE</i>	Tous les travailleurs de l'UE, y compris les travailleurs du nucléaire	S.O. ⁹	Période de repos ininterrompue de 35 heures pour chaque période de 7 jours ¹⁰	S.O. ¹¹	S.O.
Partie 117 du code des règlements fédéraux 14 CFR	Pilotes américains	30 heures consécutives de congé au cours des 7 derniers jours	S.O.	3 nuits qui coïncident avec le creux du système circadien ou 5 nuits si le cycle est assorti d'une occasion de dormir d'au moins 2 heures pour chaque période de service de vol de nuit	S.O.
CCSN, REGDOC-2.2.4	Travailleurs occupant des postes importants sur le plan de la sûreté, sites à sécurité élevée	Au plus 6 quarts >10 à 12 heures	S.O.	4 quarts de nuit >10 à 12 heures	Quarts de nuit >10 à 12 heures : 48 heures de congé après 2 nuits; 72 heures de congé après >3 nuits
				5 quarts de nuit de 8 à 10 heures	Quarts de nuit de 8 à 10 heures : 48 heures de congé après 4 ou plus

⁹ S.O. indique que la législation ne comprend pas une telle exigence

¹⁰ Les tableaux présentent les restrictions relatives aux quarts consécutifs et aux périodes de récupération qui dépasse les exigences de la plupart des compétences, soit au moins 24 heures de temps libre de travail par période de 7 jours.

¹¹ La *Directive sur le temps de travail* de l'UE prévoit les restrictions suivantes en ce qui a trait au travail de nuit : *les heures normales de travail des travailleurs de nuit ne doivent pas dépasser en moyenne 8 heures par période de 24 heures.*

16-M70

NRC des États-Unis, partie 26 du code des règlements fédéraux 10 CFR	Travailleurs du nucléaire des États-Unis	<ul style="list-style-type: none"> –quarts de 8 heures : 1 jour de congé/semaine –quarts de 10 heures : 2 jours de congé/semaine –quarts de 12 heures : 2 à 3 jours de congé/semaine^{12,13} (le nombre de jours de congé peut constituer une moyenne par cycle de quarts) –pause de 34 heures dans toute période de 9 jours¹² 	S.O.	S.O.
--	--	---	------	------

¹² Les exigences relatives à la période de récupération prévue dans la partie 26 du code des règlements fédéraux 10 CFR de la NRC des États-Unis varient en fonction du poste (par exemple, dans le domaine de la sécurité, 3 jours de congé; dans le domaine des opérations, 2,5 jours de congé; dans le domaine de l'entretien, 2 jours de congé par semaine en moyenne par cycle de quarts)

¹³ Les exigences relatives aux jours de congé de la NRC des États-Unis sont réduites à l'occasion de pannes (par exemple, pour les opérations, au moins 3 jours de congé pour chaque période successive de 15 jours; pour la maintenance, au moins 1 jour de congé pour toute période de 7 jours); une période de récupération de 34 heures pour toute période de 9 jours est applicable en tout temps.

2.2.7 Classement des limites pour les heures de travail et les périodes de récupération

Certains modèles intègrent des données scientifiques sur le rythme circadien, les périodes d'éveil et de récupération et permettent de prévoir le niveau de fatigue (106; 107). *Le fondement scientifique le plus solide des modèles de la fatigue est le fait qu'ils mettent en évidence d'importantes tendances à l'égard de la fatigue* [traduction]; ils constituent donc un outil utile en vue de comparer différents horaires de travail pour un même effectif (107 p. 23).

Le personnel de la CCSN a appliqué le modèle biomathématique FAID, version 2.2.0.210 (2014), à divers horaires de travail qui sont permis et non conformes au REGDOC. Le modèle FAID, élaboré par le centre de recherche sur le sommeil de l'University of South Australia, est bien connu et largement utilisé, notamment dans le secteur du transport aérien au Canada et dans le secteur ferroviaire en Australie (108; 109). En raison des limites des modèles de la fatigue, les résultats découlant de l'examen des horaires de travail au moyen du modèle FAID sont considérés comme un complément aux ouvrages scientifiques et à l'analyse comparative (106; 107; 108; 110).

Le logiciel FAID est fondé sur un système symbolique à base de jetons. Les jetons de fatigue sont accumulés durant les périodes de travail et les jetons de récupération, durant les périodes de temps libre de travail (111). La valeur de fatigue associée au travail et celle associée aux périodes libres de travail sont calculées en fonction de leur longueur, du moment où elles surviennent dans le rythme circadien et du temps écoulé depuis leur occurrence (111 p. A62). À l'aide de ce modèle, *les périodes de travail/congé récentes apportent une contribution relative supérieure au pointage global de fatigue que les périodes de travail/congé antérieures* [traduction] (111 p. A62). Selon les activités de validation réalisées en fonction des données recueillies dans les laboratoires et en milieu de travail, le modèle FAID permet de déterminer le caractère exigeant des horaires (111).

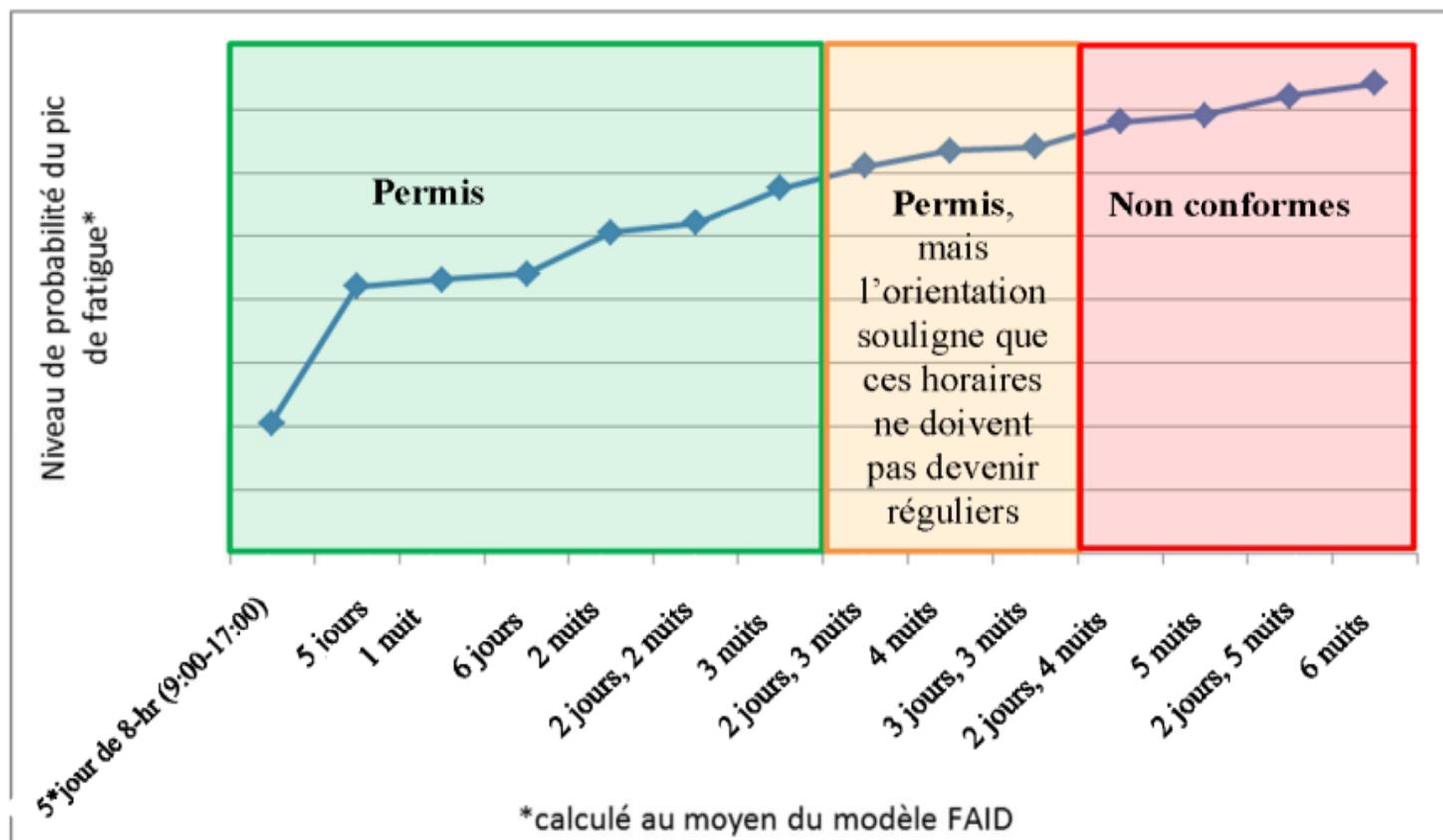


Figure 3 : Limites prévues dans le REGDOC mises à l'essai au moyen du modèle de fatigue, en ordre d'importance.

REMARQUE : Le premier point de données représente le pic de fatigue prévue à la suite de cinq quarts de jour de 8 heures. Les autres points de données représentent des quarts de 12 heures ainsi que 30 minutes pour les changements de quarts. Les quarts de jour ont lieu entre 7 h 30 et 20 h, et ceux de nuit, entre 19 h 30 et 8 h.

La figure 3 montre le pic de fatigue associé à différentes séries de quarts. Les première et deuxième cases (verte et orange) représentent les horaires qui sont permis selon le REGDOC. Les horaires figurant à la deuxième case sont permis, mais l'orientation souligne que ces horaires ne doivent pas devenir réguliers. La troisième case (rouge) représente les horaires non conformes au REGDOC.

3.0 Conclusions

Le REGDOC comprend un ensemble exhaustif d'exigences et d'orientation en matière de gestion de la fatigue des travailleurs. Ces mesures visent à diminuer le nombre de situations où le niveau de fatigue est élevé et à réduire la probabilité et les conséquences des erreurs liées à la fatigue.

Les exigences et l'orientation énoncées dans le REGDOC sont fondées sur des données scientifiques à l'égard des effets de la fatigue sur la performance humaine et sur l'analyse comparative avec d'autres organismes de réglementation. En réponse aux commentaires reçus à l'occasion de la consultation publique, les exigences réglementaires ont été modifiées pour mettre davantage l'accent sur les risques les plus élevés posés par les quarts de travail : les quarts de travail prolongés de plus de 10 heures et le travail de nuit. Le personnel de la CCSN a examiné les demandes de modification du REGDOC formulées à l'occasion des consultations publiques en tenant compte des données scientifiques et de l'analyse comparative ainsi qu'en fonction de leur incidence sur le classement des limites au sein du REGDOC, tel qu'il est présenté à la figure 3.

Le personnel de la CCSN continuera de surveiller les avancées scientifiques et les pratiques réglementaires liées à la gestion de la fatigue et examinera tout nouveau renseignement aux fins d'intégration dans les versions subséquentes du REGDOC.

Références

1. Dawson, D., J. Chapman, et M. Thomas. « Fatigue-proofing: A new approach to reducing fatigue-related risk using the principles of error management », *Sleep Medicine Reviews*, n° 16 (2012), p. 167-175.
2. Smiley, A., et N.P. Moray. INFO-0318, *Review of 12-hour Shifts at Nuclear Generating Stations*, Ottawa, Commission de contrôle de l'énergie atomique, 1989.
3. Kulp, K. RSP-0096, *Development of a Regulatory Monitoring Program for Shiftwork Systems at Canadian Nuclear Power Plants*, Ottawa, Commission de contrôle de l'énergie atomique, 1999.
4. Smiley, A., et C Rudin-Brown. RSP-0289, *Examen des critères d'évaluation des horaires de quarts de l'industrie nucléaire*, Ottawa, Commission canadienne de sûreté nucléaire, 2013.
5. Borbély, A. « A two process model of sleep regulation », *Human Neurobiology*, n° 1(3), (1982), p. 195-204.
6. Belenky, G., N. Wesensten, D. Thorne, M. Thomas, H. Sing, D. Redmond, et T. Balkin. « Patterns of performance degradation and restoration during sleep restriction and subsequent recovery: a sleep dose-response study », *Journal of Sleep Research*, n° 12, (2003), p. 1-12.
7. Van Dongen, H., G. Maislin, J. Mullington, et D. Dinges. « The cumulative cost of additional wakefulness: Dose-response effects on neurobehavioral functions and sleep physiology from chronic sleep restriction and total sleep deprivation », *Sleep*, n° 26(2), (2003), p. 117-126.
8. Gander, P., L. Hartley, D. Powell, P. Cabon, E. Hitchcock, A. Mills, et S. Popkin. « Fatigue risk management: Organizational factors at the regulatory and industry/company level », *Accident Analysis and Prevention*, n° 43, (2011), p. 573-590.
9. Cohen, D., W. Wang, J. Wyatt, R. Kronauer, D. Dijk, C. Czeisler, et E. Klerman. « Uncovering residual effects of chronic sleep loss on human performance », *Science Translational Medicine*, n° 2(14), (2010).
10. Dijk, D., J. Duffy, et C. Czeisler. « Circadian and sleep/wake dependent aspects of subjective alertness and cognitive performance », *Journal of Sleep Research*, n° 1, (1992), p. 112-117.
11. Balkin, T., T. Rupp, D. Picchioni, et N. Wesensten. « Sleep loss and sleepiness: Current issues », *Contemporary Reviews in Sleep Medicine*, n° 134(3), (2008), p. 653-660.
12. Goel, N., H. Rao, J. Durmer, et D. Dinges. « Neurocognitive consequences of sleep

- deprivation », *Seminars in Neurology*, n° 29(4), (2009), p. 320-339.
13. Philibert, I. « Sleep loss and performance in residents and nonphysicians: A meta-analytic examination », *Sleep*, n° 28(11), (2005), p. 1392-1402.
 14. Kryger, M., T. Roth, et W. Dement. *Principles and Practice of Sleep Medicine* (5^e édition), St. Louis: Elsevier Saunders, 2011.
 15. Matthews, G., et al. *The Handbook of Operator Fatigue*, Farnham: Ashgate Publishing Limited, 2012.
 16. Pilcher, J., et A. Huffcutt. « Effects of sleep deprivation on performance: A meta-analysis », *Sleep*, n° 19(4), (1996), p. 318-326.
 17. Williamson, A., D. Lombardi, S. Folkard, J. Stutts, T. Courtney, et J. Connor. « The link between fatigue and safety », *Accident analysis and Prevention*, n° 43, (2011), p. 498-515.
 18. Phillips, R. *What is fatigue and how does it affect the safety performance of human transport operators? Fatigue in Transport Report 1*, Oslo : Institute of Transport Economics, T01 report 1351/2014, 2014.
 19. Banks, S., H. Van Dongen, G. Maislin, et D. Dinges. « Neurobehavioral dynamics following chronic sleep restriction: Dose-response effects of one night for recovery », *Sleep*, n° 33(8), (2010), p. 1013-1026.
 20. Bratzke, D., B. Rolk, et M. Peters. « Central slowing during the night », *Psychological Science*, n° 18(5), (2007), p. 456-461.
 21. Drake, C., T. Roeh, E. Burduvali, A. Bonahoom, M. Rosekind, et T. Roth. « Effects of rapid versus slow accumulation of eight hours of sleep loss », *Psychophysiology*, n° 38, (2001), p. 979-987.
 22. Lim, J., et D. Dinges. « A meta-analysis of the impact of short-term sleep deprivation on cognitive variables », *Psychological Bulletin*, n° 136(3), (2010), p. 375-389.
 23. Dinges, D., F. Pack, K. Williams, K. Gillen, J. Powell, G. Ott, et A. Pack. « Cumulative sleepiness, mood disturbance, and psychomotor vigilance performance decrements during a week of sleep restricted to 4-5 hours per night », *Sleep*, n° 20(4), (1997), p. 267-277.
 24. Gohar, A., A. Adams, E. Gertner, L. Sackett-Lundeen, R. Heitz, R. Engle, et J. Bijwadia. « Working memory capacity is decreased in sleep-deprived internal medicine residents », *Journal of Clinical Sleep Medicine*, n° 5(3), (2009), p. 191-197.
 25. Johnson, M., J. Duffy, D. Dijk, J. Ronda, C. Dyal, et C. Czeisler. « Short-term memory, alertness and performance: a reappraisal of their relationship to body temperature », *Journal of Sleep Research*, n° 1, (1992), p. 24-29.

26. Walker, M. « Sleep-dependent memory processing », *Harvard Review of Psychiatry*, n° 16, (2008), p. 287-298.
27. Harrison, Y., et J. Horne. « The impact of sleep deprivation on decision-making: A review », *Journal of Experimental Psychology: Applied*, n° 6(3), (2000), p. 236-249.
28. Venkatraman, V., Y. Chuah, S. Huettel, et Chee, M. « Sleep deprivation elevates expectation of gains and attenuates response to losses following risky decisions », *Sleep*, n° 30(5), (2007), p. 603-609.
29. Goldstein, A., S. Greer, J. Saletin, A. Harvey, J. Nitschke, et M. Walker. « Tired and apprehensive: Anxiety amplifies the impact of sleep loss on aversive brain anticipation », *The Journal of Neuroscience*, 33(26), (2013), p. 10607-10615.
30. Barger, L., S. Lockley, S. Rajaratnam, et C. Landrigan. « Neurobehavioral, health, and safety consequences associated with shift work in safety-sensitive professions », *Current Neurology and Neuroscience Reports*, n° 9, (2009), p. 155-164.
31. National Research Council. *The Effects of Commuting on Pilot Fatigue*. Washington, DC: The National Academies Press, 2011.
32. Mitler, M., M. Carskadon, C. Czeisler, W. Dement, D. Dinges, et R. Graeber. « Catastrophes, sleep and public policy: Consensus report », *Sleep*, n° 11(1), (1988), p. 100-109.
33. Hobbs, A., A. Williamson, et H. Van Dongen. « A circadian rhythm in skill-based errors in aviation maintenance », *Chronobiology International*, n° 27(6), (2010), p. 1304-1316.
34. Heslegrave, R., W. Rhodes, et V. Gil. « A prospective study examining the changes to worker health and safety after shifting from 9 to 12.5-hour shifts », 2010. Dans S. Hornberger, P. Knauth, G. Costa, et S. Folkard, *Shiftwork in the 21st Century*, Frankfurt: Peter Lang, p. 175-180.
35. Elliott, W., et D. Mein. *Rapport au Comité directeur tripartite sur la fatigue dans l'ATC*. Ottawa : Transports Canada, n° de rapport TP-13742F, 2001.
36. Lerman, S., E. Eskin, D. Flower, E. George, B. Gerson, N. Hartenbaum, et M. Moore-Ede. « Fatigue risk management in the workplace », *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, n° 54(2), (2012), p. 231-258.
37. Fletcher, A., B. Hooper, I. Dunican, et K. Kogi.. « Fatigue Management in Safety-Critical Operations: History, Terminology, Management System Frameworks, and Industry Challenges », *Reviews of Human Factors and Ergonomics*, n° 10, (2015), p. 6-28.
38. Organisation de l'aviation civile internationale. Extraits des dispositions relatives au système de gestion des risques de fatigue figurant dans l'Annexe 6 à la Convention relative

à l'Aviation civile internationale, 2011.

39. Transports Canada. *Développement et mise en œuvre de systèmes de gestion des risques liés à la fatigue dans le milieu aéronautique canadien*, Circulaire d'information n° SUR-001, 2011.
40. Safe Work Australia. *Guide for Managing the Risk of Fatigue at Work*, 2013.
41. Darwent, D., D. Dawson, J. Paterson, G. Roach, et S. Ferguson. « Managing Fatigue: It really is about sleep », *Accident Analysis*, n° 82, (2015), p. 20-26.
42. Smolensky, M., L. Di Milia, M. Ohayon, et P. Philip. « Sleep disorders, medical conditions, and road accident risk », *Accident Analysis and Prevention*, n° 43, (2011), p. 533-548.
43. Paim, S., M. Pires, L. Bittencourt, R. Silva, R. Santos, A. Esteves, et M. Tulio de Mello. « Sleep complaints and polysomnographic findings: A study of nuclear power plant shift workers », *Chronobiology International*, n° 25(2 et 3), (2008), p. 321-331.
44. Tulio de Mello, M., F. Narciso, S. Tufik, T. Paiva, D. Spence, A. BaHammam, et S. Pandi-Perumal. « Sleep disorders as a cause of motor vehicle collisions », *International Journal of Preventive Medicine*, n° 4(3), (2013), p. 246-257.
45. Richter, K., J. Acker, S. Adam, et G. Niklewski. « Prevention of fatigue and insomnia in shift workers – a review of non-pharmacological measures », *The EPMA Journal*, n° 7, (2016), p. 16.
46. Driskell, J., et B. Mullen. « The efficacy of naps as a fatigue countermeasure: A meta-analytic integration », *Human Factors*, n° 47(2), (2005), p. 360-377.
47. Tremaine, R., J. Dorrian, L. Lack, N. Lovato, S. Ferguson, X. Zhou, et G. Roach. « The relationship between subjective and objective sleepiness and performance during a simulated night-shift with a nap countermeasure », *Applied Ergonomics*, n° 42, (2010), p. 52-61.
48. Ficca, G., J. Axelsson, D. Mollicone, V. Muto, et M. Vitiello. « Naps, cognition and performance », *Sleep Medicine Reviews*, n° 14, (2010), p. 249-258.
49. Monk, T. « Advantages and disadvantages of rapidly rotating shift schedules - A circadian viewpoint », *Human Factors*, n° 28(5), (1986), p. 553-557.
50. Roach, G., D. Dawson, K. Reid, D. Darwent, et C. Sargent. « The time-of-day that breaks occur between consecutive duty periods affects the sleep strategies used by shiftworkers », *Chronobiology International*, n° 33, (2016), p. 653-656.
51. Dinges, D., R. Graeber, M. Rosekind, A. Samel, et H. Wegmann. *Principles and*

Guidelines for Duty and Rest Scheduling in Commercial Aviation. Moffett Field: NASA Ames Research Center, 1996.

52. Federal Aviation Administration, partie 117 du code des règlements fédéraux 14 CFR, *Flight and duty limitations and rest requirements: Flightcrew members*.
53. Ferguson, S., G. Paech, J. Dorrian, G. Roach, et S. Jay. « Performance on a simple response time task: Is sleep or work more important for miners », *Applied Ergonomics*, n° 42, (2011), p. 210-213.
54. Scott, L., A. Rogers, W. Hwang, et Y. Zhang. « Effects of critical care nurses' work hours on vigilance and patients' safety », *American Journal of Critical Care*, n° 15(1), (2006), p. 30-37.
55. Watson, N., M. Badr, G. Belenky, D. Bilwise, O. Buxton, D. Buysse, E. Tasali. « Recommended amount of sleep for a healthy adult: A joint consensus statement of the American Academy of Sleep Medicine and Sleep Research Society », *Sleep*, n° 38(6), (2015), p. 843-844.
56. National Sleep Foundation. *2008 Sleep in America Poll*. Washington: National Sleep Foundation, 2008.
57. Vedaa, O., A. Harris, B. Bjorvatn, S. Waage, B. Sivertsen, P. Tucker, et S. Pallesen. « Systematic review of the relationship between quick returns in rotating shift work and health-related outcomes », *Ergonomics*, n° 59(1), (2016), p. 1-14.
58. Czeisler, C., E. Wickwire, L. Barger, W. Dement, K. Gamble, N. Hartenbaum, et M. Hirshkowitz. « Sleep-deprived motor vehicle operators are unfit to drive: a multidisciplinary expert consensus statement on drowsy driving », *Sleep Health*, n° 2(2), (2016), p. 94-99.
59. Roach, G., K. Reid, et D. Dawson. « The amount of sleep obtained by locomotive engineers: effects of break duration and time of break onset », *Occupational and Environmental Medicine*, n° 60(12), (2003), p. e17.
60. Rosenthal, L., T. Roeh, A. Rosen, et T. Roth. « Level of sleepiness and total sleep time following various time in bed conditions », *Sleep*, n° 16(3), (1993), p. 226-232.
61. Folkard, S., K. Robertson, et M. Spencer. « A fatigue/risk index to assess work schedules », *Somnologie*, n° 11, (2007), p. 177-185.
62. Eldevik, M., E. Flo, B. Moen, S. Pallesen, et B. Bjorvatn. « Insomnia, excessive sleepiness, excessive fatigue, anxiety, depression and shift work disorder in nurses having less than 11 hours in-between shifts », *PLOS ONE*, n° 8, (2013), p. e70882.
63. Dahlgren, A., P. Tucker, P. Gustavsson, et A. Rudman. « Quick returns and night work as

- predictors of sleep quality, fatigue, work-family balance and satisfaction with work hours », *Chronobiology International*, n° 33, (2016), p. 759-767.
64. Van Dongen, H., et D. Dinges. « Sleep, circadian rhythms, and psychomotor vigilance », *Clinical Sports Medicine*, n° 24, (2005), p. 237-249.
 65. Wagstaff, A., et J. Sigstad. « Shift and night work and long working hours - a systematic review of safety implications », *Scandinavian Journal of Work and Environmental Health*, n° 37(3), (2011), p. 173-185.
 66. Folkard, S., et D. Lombardi. « Modeling the impact of the components of long work hours on injuries and "accidents" », *American Journal of Industrial Medicine*, n° 49, (2006), p. 953-963.
 67. Knauth, P. « Extended work periods », *Industrial Health*, n° 45, (2007), p. 125-136.
 68. Lamond, N., et D. Dawson. « Quantifying the performance impairment associated with fatigue », *Journal of Sleep Research*, n° 8, (1999), p. 255-262.
 69. Doran, S., H. Van Dongen, et D. Dinges. *Sustained attention performance during sleep deprivation: Evidence of state instability*. Archives Italiennes de Biologie, n° 139, (2001), p. 253-267 .
 70. Konowal, N., H. Van Dongen, J. Powell, M. Mallis, et D. Dinges. « Determinants of microsleeps during experimental sleep deprivation », *Sleep*, n° 22S1, (1999), p. S328.
 71. Hale, L. « Who has time to sleep? », *Journal of Public Health*, 27(2), (2005), p. 205-211.
 72. Roenneberg, T., T. Kuehnle, M. Juda, T. Kantermann, K. Allebrandt, M. Gordijn, et M. Mero. « Epidemiology of the human circadian clock », *Sleep Medicine Reviews*, n° 11, (2007), p. 429-438.
 73. Basner, M., K. Fomberstein, F. Razavi, S. Banks, J. William, R. Rosa, et D. Dinges. « American time use survey: Sleep time and its relationship to waking activities », *Sleep*, n° 30(9), (2007), p. 1085-1095.
 74. Tucker, P., L. Smith, I. Macdonald, et S. Folkard. « Distribution of rest days in 12 hour shift systems: impacts on health, wellbeing, and on shift alertness », *Occupational and Environmental Medicine*, n° 56, (1999), p. 206-214.
 75. Paech, G., S. Jay, N. Lamond, G. Roach, et S. Ferguson. « The effects of different roster schedules on sleep in miners », *Applied Ergonomics* n° 41, (2010), p. 600-606.
 76. Geiger-Brown, J., V. Rogers, A. Trinkoff, R. Kane, R. Bausell, et S. Scharf. « Sleep, sleepiness, fatigue and performance of 12-hour-shift nurses », *Chronobiology International*, n° 29(2), (2012), p. 211-219.

77. Escriba, V., S. Perez-Hoyos, et F. Bolumar. « Shiftwork: its impact on the length and quality of sleep among nurses of the Valencian region of Spain », *Occupational and Environmental Health*, n° 64(2), (1992), p. 125-129.
78. Pilcher, J., et A. Huffcutt. « Effects of sleep deprivation on performance: A meta-analysis », *Sleep*, n° 19(4), (1996), p. 318-326.
79. Van Dongen, H., N. Rogers, et D. Dinges. « Sleep debt: Theoretical and empirical issues », *Sleep and Biological Rhythms*, n° 1, (2003), p. 5-13.
80. Mollicone, D., H. Van Dongen, N. Rogers, S. Banks, et D. Dinges. « Time of day effects on neurobehavioral performance during chronic sleep restriction », *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, n° 81, (2010), p. 735-744.
81. Spencer, M., K. Robertson, et S. Folkard. *The development of a fatigue/risk index for shift workers*. Health and Safety Executive Report n° 446, 2006.
82. Folkard, S., et P. Tucker. « Shift work, safety and productivity », *Occupational Medicine*, n° 53, (2003), p. 95-101.
83. Drake, C., et K. Wright. « Shift work, shift-work disorder, and jet lag », 2003, dans M. Kryger, T. Roth, et W. Dement, *Principles and Practice of Sleep Medicine* (p. 784-798). St. Louis: Elsevier Saunders.
84. Monk, T., S. Folkard, et A. Wedderburn. « Maintaining safety and high performance on shiftwork », *Applied Ergonomics*, n° 27(1), (1996), p. 17-23.
85. Totterdell, P., E. Spelten, L. Smith, J. Barton, et S. Folkard. « Recovery from work shifts: How long does it take? », *Journal of Applied Psychology*, n° 80(1), (1995), p. 43-57.
86. Akerstedt, T., M. Ingre, G. Kecklund, S. Folkard, et J. Axelsson. « Accounting for partial sleep deprivation and cumulative sleepiness in the three-process model of alertness regulation », *Chronobiology International*, n° 25(2 et 3), (2008), p. 309-319.
87. Akerstedt, T., Kecklund, G., Gillberg, M., Lowden, A., et Axelsson, J. (2000). *Sleepiness and days of recovery*. Transportation Research Part F 3, p. 251-261.
88. Commission de contrôle de l'énergie atomique, Direction de l'évaluation et de l'analyse et Direction de la réglementation des centrales nucléaires. *Ontario Hydro Trial 12-hour Shiftworking*. BMD 94-173, e-doc 3004687, 1994.
89. Folkard, S. « Do permanent night workers show circadian adjustment? A review based on the endogenous melatonin rhythm », *Chronobiology International*, n° 25(2 et 3), (1994), p. 215- 224.
90. Virtanen, M., J. Ferrie, D. Gimeno, J. Vehtera, M. Elovainio, A. Singh-Manoux, et

- M. Kivimaki. « Long working hours and sleep disturbances: The Whitehall II prospective cohort study », *Sleep*, n° 32(6), (2009), p. 737-745.
91. Lombardi, D., S. Folkard, J. Willetts, et G. Smith. « Daily sleep, weekly working hours, and risk of work-related injury: US national health interview survey (2004-2008) », *Chronobiology International*, n° 27(5), (2010), p. 1013-1030.
 92. Dembe, A., J. Erickson, R. Delbos, et S. Banks. « The impact of overtime and long work hours on occupational injuries and illnesses: new evidence from the United States », *Occupational and Environmental Medicine*, 2005, p. 588-597.
 93. Vegso, S., L. Cantley, M. Slade, O. Taiwo, K. Sircar, P. Rabinowitz, M. Cullen. « Extended work hours and risk of acute occupational injury: A case-crossover study of workers in manufacturing », *American Journal of Industrial Medicine*, (2007), p. 597-603.
 94. Dong, X. « Long workhours, work scheduling and work-related injuries among construction workers in the United States », *Scandinavian Journal of Work and Environmental Health*, n° 31(5), (2005), p. 329-335.
 95. Stutts, J., J. Wilkins, J. Osberg, et B. Vaughn. « Driver risk factors for sleep-related crashes », *Accident Analysis and Prevention*, n° 35, (2003), p. 321-331.
 96. Rogers, A., W. Hwang, L. Scott, L. Aiken, et D. Dinges. « The working hours of hospital staff nurses and patient safety », *Health Affairs*, (2004), p. 202-212.
 97. Cappuccio, F., A. Bakewell, F. Taggart, G. Ward, J. Sullivan, M. Edmunds, et E. Peile. « Implementing a 48 h EWTD-compliant rota for junior doctors in the UK does not compromise patients' safety: assessor-blind pilot comparison », *The Quarterly Journal of Medicine*, n° 102, (2009), p. 271-282.
 98. Landrigan, C., J. Rothschild, J. Cronin, R. Kaushal, E. Burdick, J. Katz, et C. Czeisler. « Effect of reducing interns' work hours on serious medical errors in intensive care units », *The New England Journal of Medicine*, n° 351, (2004), p. 1838-1848.
 99. Federal Aviation Administration. (2011). *Flightcrew Member Duty and Rest Requirements*, RIN 2120-AJ58.
 100. Deloitte Centre for Strategy et Evaluation Services. *Study to support an Impact Assessment on further action at European level regarding Directive 2003/88/EC and the evolution of working time organization, Annex 1 - Study on health and safety aspects of working time*. Direction générale de l'emploi, des affaires sociales et de l'égalité des chances, Commission européenne, 2010.
 101. U.S. Federal Register. (2008). Nuclear Regulatory Commission, partie 26 du code des règlements fédéraux 10 CFR, 73(62), p. 16966-17235.

102. Organisation internationale du travail. *C014 - Convention (n° 14) sur le repos hebdomadaire (industrie)*, 1921.
103. Le Parlement européen et le Conseil de l'Union européenne. *Directive 2003/88/CE du Parlement européen et du Conseil du 4 novembre 2003 concernant certains aspects de l'aménagement du temps de travail*, 2003.
104. Organisation internationale du travail. *R178 - Recommandation (n° 178) sur le travail de nuit*, 1990.
105. Transports Canada. *Conseil consultatif de la réglementation aérienne canadienne (CCRAC) Avis de proposition de modification (APM) : Gestion de la fatigue des équipages de conduite, Avis de rapport d'activités du CCRAC n° 2014-019*. Ottawa, Transports Canada, 2014.
106. Dawson, D., Y. Noy, M. Harma, T. Akerstedt, et G. Belenky. « Modelling fatigue and the use of fatigue models in work settings », *Accident Analysis and Prevention*, n° 43, (2011), p. 549- 564.
107. Civil Aviation Safety Authority Australia. *Biomathematical Fatigue Models Guidance Document*, Albert Park, Civil Aviation Safety Authority, 2014.
108. Independent Transport Safety Regulator Australia. *Transport Safety Alert - Use of bio-mathematical models in managing risks of human fatigue in the workplace*, Independent Transport Safety Regulator, TSA no. 34, 2010.
109. Transports Canada. *Développement et mise en œuvre de systèmes de gestion des risques liés à la fatigue dans le milieu aéronautique canadien, Circulaire d'information n° SUR-001*, Ottawa, Transports Canada, 2011.
110. Australian Transport Safety Bureau. *Signal passed at danger by train ST24 Junee, New South Wales 9 September 2009*, Canberra, Australian Transport Safety Bureau, RO-2009-008, 2011.
111. Roach, G., A. Fletcher, et D. Dawson. « A model to predict work-related fatigue based on hours of work », *Aviation, Space and Environmental Medicine*, n° 75(3), (2004), p. A61-A69.